Untersuchungen mit Mangan-54 an Hähnen; zugleich ein Beitrag zum Stoffwechsel des Mangans

Heinz Schmidt

1963

Aus dem Institut für Nahrungsmittelkunde der Tierärztlichen Fakultät
der Universität München
Vorstand: Prof. Dr. L. Kotter

UNTERSUCHUNGEN MIT MANGAN-54 AN HÄHNEN; ZUGLEICH EIN BEITRAG ZUM STOFFWECHSEL DES MANGANS

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der veterinärmedizinischen Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität
München

von
Heinz Schmidt
aus
Heilbronn

München 1967

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Universität München

Dekan: Prof. Dr. A. Herrlich
Referent: Prof. Dr. L. Kotter
Korreferent: Prof. Dr. Dr. Dr. h. c. J. Brüggemann

Tag der Promotion: 28. Juli 1967

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

UNI-Druck, München 13, Amalienstraße 85

In Dankbarkeit meinen Eltern

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546019_0071

INHALTSVERZEICHNIS

A. Einleitung 1

B. Literatur 2

1. Historisches 2
2. Vorkommen des Mangans 2
3. Das Radionuklid ^{54}Mn 7
4. Biozyklus von ^{54}Mn 8
5. Manganstoffwechsel bei Tier und Mensch 8
   a) Die Aufnahme 9
   b) Mangan-Ausscheidung 10
   c) Die Mangan-Verteilung im Tierkörper 11
   d) Die physiologische Bedeutung des Mangans 13
   e) Der Manganbedarf 16
   f) Krankheitserscheinungen bei Manganmangel und -überangebot 18
6. Bestimmungsmethoden für Mn in biologischem Material 20

C. Eigene Untersuchungen 22

I. Material und Methodik 22

1. Allgemeines 22
2. Tiermaterial 23
3. Haltung und Fütterung der Versuchstiere 23
4. Durchführung der Versuche 25
   a) Vorversuche 25
      aa) Ergebnisse und Besprechung der Ergebnisse aus dem Vorversuch 26
   b) Hauptversuch
      ba) Probenentnahme 27
5. Aufarbeitung des Probenmaterials und Veraschung 27
6. γ-spektrometrische ^{54}Mangan-Bestimmung 29
7. ^{54}Mangan-Analyse 30
8. Bestimmung von Wasser-, Fett- und Eiweißgehalt der Muskulatur. 31

II. Ergebnisse und Besprechung der Ergebnisse 32

D. Diskussion 43

E. Zusammenfassung 49

F. Summary 51

G. Literaturverzeichnis 53

Lebenslauf 77

Anhang 79

A. EINLEITUNG

Starke Neutronenstrahlung, die bei thermonuklearen Reaktionen entsteht, kann in ihrem Wirkungsbereich durch Induktion aus stabilen Elementen radioaktive Isotope erzeugen. Neben Kohlenstoff-14, Cobalt-60 und Zink-65 wird dabei sehr häufig auch Mangan-54 gebildet.

Die Funktion des Mangans als lebensnotwendiges Spurenelement bei Pflanzen, Tieren und vermutlich auch beim Menschen verleiht diesem Isotop besondere Bedeutung. Über das Verhalten des Mangans im tierischen Organismus liegen in der Literatur zahlreiche und z. T. widersprüchliche Befunde vor.

Bei Geflügel, das nach Literaturangaben den höchsten Manganbedarf aller Tiere hat, sind die Untersuchungen über das physiologische Verhalten, besonders von radioaktivem Mangan, sehr spärlich.

Im Rahmen dieser Arbeit sollten daher bei Hähnen während eines längeren Versuchszeitraumes Aufnahme, Verteilung und Ausscheidung von ^{54}Mn studiert werden.

B. LITERATUR

1. Historisches

Das Element Mangan wurde 1774 von dem schwedischen Apotheker Gahn entdeckt und aus Braunstein isoliert.

Das Manganerz Braunstein war schon den Römern bekannt und wurde von ihnen bei der Glasherstellung verwendet. Sie betrachteten es als eine Art des Magnes (= Magneteisenstein), und da es im Gegensatz zu diesem kein Eisen anzog, bezeichneten sie es als die weibliche Form. PLINIUS schrieb darüber: "Magnes qui niger est et foeminei sexus, ideoque sine viribus".

Das Mittelalter kannte das Manganerz als "Magnesia niger" und erst viel später erhielt es den Namen Braunstein, doch auch weiterhin wurde es für ein Eisenerz gehalten. Dem 18. Jahrhundert blieb es vorbehalten, diese Ansicht zu korrigieren. Seine Bedeutung bei der Glasverarbeitung behielt das Erz lange bei. Unter dem Namen Glasseife oder Manganes fand es zur Reinigung des Glases von Eisenoxyd Verwendung. Daher wird vermutet, daß der Name Mangan als Hinweis auf die Verwendung seines Erzes vom griechischen μαγγανίζειν (= reinigen) abgeleitet wurde (1).

2. Vorkommen des Mangans

Mangan ist in der Natur in Form seiner Verbindungen sehr weit verbreitet. Es ist nach Eisen das zweithäufigste Schwermetall der Erde (114). Seine chemische Wertigkeitsskala reicht von 0 bis 7 Valenzen. Am beständigsten sind seine 2- und 7-wertigen Verbindungen (68). In der Biosphäre jedoch kommt es fast nur 2-, 3- und 4-wertig vor. Reines, metallisches Mangan ist silbergrau, hart und sehr spröde.

In der durchschnittlich 16 km dicken Erdkruste ist das Element zu 0,085 % enthalten (68, 114), allerdings weisen unterschiedliche Böden beträchtliche Schwankungen im Mangangehalt auf; in der Regel liegt er zwischen 300 und 7 000 ppm (99). Als Mittelwert dürfen ca. 1 000 ppm angenommen

werden. Gestein enthält durchschnittlich 900 ppm Mangan (160). Angereichert kommt es in Meteoriten (bis 2 400 ppm) (50), in Basaltgestein (1 500 ppm) (142) und in Tiefseetonen (6 700 ppm) (152) vor. Erzführende Schichten, insbesondere Eisenerze, weisen wesentlich höhere Mangangehalte auf (109), ebenso soll auch im Erdkern bis zu 1,5 % Mangan vorhanden sein (114).

Das wichtigste Manganerz ist der Braunstein (Mn_2O_3), gefolgt von Hausmannit (Mn_3O_4) und Manganit ($Mn_3O_4 \cdot H_2O$) (12). Die bisher wohl größten Manganvorkommen (mit einem Gehalt von 25 % Rein-Mangan) wurden 1958 am Boden der Südsee entdeckt (114).

Meerwasser enthält nach GOLDSCHMIDT (50) durchschnittlich 0,004 ppm Mangan, entsprechende Werte für Süßwasser liegen wesentlich höher.

Seit SCHEELE (125) und SAUSSURE (121) wurden unzählige Pflanzen auf ihren Mangangehalt untersucht. Man fand in allen untersuchten Pflanzen und Pflanzenteilen relativ kleine und vielfach wechselnde Mengen. Am manganreichsten sind nach SCHRÖDER (127) die Tannennadeln mit einem Gehalt von über 0,78 % in der Trockensubstanz. RADEMACHER (108) berichtet über hohe Mangangehalte in Cariophyllaceen, Ranunculaceen, Oxalidaceen und in vielen Wasserpflanzen; wenig Mangan enthalten dagegen Cruziferen, Compositen und Primulaceen.

GAMELIN (48) konnte bei Untersuchungen an 59 verschiedenen Baumarten und 7 verschiedenen Sträuchern über die Manganverteilung folgendes feststellen: Am meisten enthalten die Blätter, es folgen in abnehmenden Konzentrationen Rinde, Zweige, Früchte und Splintholz. Bei anderen Pflanzen konnten die höchsten Mangangehalte ebenfalls in den Blättern beobachtet werden (138). Grüne Blätter sind nach BERTRAND und ROSENBLATT (18) manganreicher als etiolierte. Als mittleren Mn-Gehalt für grüne Blätter gibt BERTRAND (15) 0,5 mg% an.

Für den Mangangehalt der Pflanze ist neben der Pflanzenart vor allem die Menge des vorhandenen leicht resorbierbaren Mangans im Boden von entscheidender Bedeutung. So kann ein hoher Gesamtmangangehalt des Bodens dennoch zur Manganverarmung der Pflanzen führen, wenn das Mangan in schlecht aufnehmbaren Verbindungen vorliegt.

Bei gleichem Boden liegen allgemein die Manganwerte für Gräser höher als für Luzerne und Leguminosen. Wiesenheu bildet daher für die Tiere eine gute Manganquelle (20, 75). Ausgesprochen manganarm ist Mais (5).

Für die pflanzlichen Nahrungsmittel werden folgende Mangangehalte angegeben (115): Salat bis 200 mg/kg; Rüben, Hafer, Weizen und Bananen 30 - 70 mg/kg; Reis, grüne Erbsen, Spargel und Bohnen 12 - 30 mg/kg; Hefe, Zwiebeln, Karotten und Kohl 4 - 15 mg/kg; Trauben, Datteln und Äpfel 1 - 6 mg/kg.

Durch eingehende Versuche konnte gezeigt werden, daß Mangan für das Gedeihen der Pflanzen unentbehrlich ist. Es stellt ein essentielles Spurenelement dar. Natürlich vorkommende (z. B. Dörrfleckenkrankheit des Hafers) wie auch künstlich erzeugte Manganmangelkrankheiten konnten durch Zugabe von Mn beseitigt werden (124).

Nicht nur Mn-Mangel, sondern auch -überschuß kann bei Pflanzen eine Schädigung hervorrufen.

Wie bei Pflanzen zählt Mangan auch bei Tieren zu den unentbehrlichen Spurenelementen.

Als erster hat der Franzose VAUQUELIN (144) auf das Vorkommen des Minerals in tierischen Geweben hingewiesen. Er fand "einige Atome Manganoxyd" in Haaren und wenig später in Rinderknochen.

Nach KIRCHGESSNER und FRIESECKE (80) ist die Mangankonzentration mit durchschnittlich 0,2 - 0,3 mg/kg Körpergewicht im tierischen Organismus allgemein niedriger als in Pflanzen (61). BERTRAND und MEDIGRECEANU (16, 17) ermittelten bei Untersuchungen über die Mangankonzentration in Blut und Körpergeweben verschiedener Tierarten die höchsten Werte mit 0,8 - 0,4 mg% (bezogen auf Frischgewicht) in den Federn und mit 0,3 mg% in der Leber, die niedrigsten mit 0,01 mg% in den Knochen; Frischmilch enthielt 0,005 mg% Mangan. Im allgemeinen konnten diese Angaben bestätigt werden, nur der Mn-Gehalt der Knochen erwies sich als viel höher, so daß BERTRAND (15) ihn später korrigieren mußte. Aufgrund eigener Unter-

suchungen bezeichnete BERG (13) alle diese Werte als zu niedrig.

Nach RICHARDS (113) soll der Mangangehalt bei den einzelnen Tierarten erheblich schwanken. FORE und MORTON (44), COTZIAS (30), UNDERWOOD (143) und VON OETTINGEN (103) halten dagegen die Mangankonzentration der einzelnen Organe meist unabhängig von der Tierspezies für recht konstant. Die höchsten Konzentrationen werden danach in Knochen, Hypophyse und Leber gefunden (28, 30, 44, 61, 105). Weniger enthalten Nieren, Magen-Darmtrakt und Haare; ausgesprochen Mn-arm sind Lunge, Blut, blutbildendes Gewebe und Muskeln. Nach BRÜCKMANN und ZONDEK (25) entsprechen diese Feststellungen auch den Verhältnissen beim Menschen.

In der nachfolgenden Tabelle sind die durchschnittlichen Manganwerte tierischer Gewebe zusammengestellt.

Tabelle: Mangangehalte verschiedener Gewebe für eine breite Gruppe von Tierspezies
(in µg/g Frischgewebe) nach FORE und MORTON (44), und COTZIAS (30).

Gewebe	Mn-Gehalte
Knochen	3,5
Laktierende Milchdrüse	2,2
Leber	2,1
Ileum	1,7
Duodenum	1,1
Colon	1,0
Magen	1,0
Niere	1,2
Haar	0,99
Galle	0,48
Hoden	0,38
Herz	0,28
Muskel	0,13
Blut	0,03
Lunge	0,011
Harn	0,000

Die Literaturangaben über den Mn-Gehalt des Blutes differieren allerdings ganz beträchtlich. BERTRAND und MEDIGRECEANU fanden bei verschiedenen Tieren durchschnittlich 2 γ% Mn, wobei sich die Manganmenge im Verhältnis 2:3 auf die zellulären Bestandteile und das Plasma verteilt. KEHOE (76) ermittelte in Menschenblut spektrographisch 12 - 18 γ% wobei 2/3 in Korpuskeln und 1/3 im Plasma vorhanden waren. Nach derselben Methode bestimmte HAWKINS (57) in Kälberblut einen Gehalt von 2 γ%, der sich durch entsprechendes Mn-Angebot bis auf 8 γ% steigern ließ. LANG (87) gibt übereinstimmend mit WOLFF (161) für das Blut des Menschen 0,17 γ% an. Mit der Neutronenaktivierungsmethode konnte BOWEN (22) im menschlichen Blut einen mittleren Gehalt von 2,4 γ% ± 0,8, bei gleichmäßiger Verteilung auf Plasma und Zellen, feststellen. Nach BENTLEY und PHILLIPS (10) liegen die Werte für Rinderblut bei 6 γ%.

Bei Kaninchen (40), Schweinen (74) und Hühnern (73) konnten in einigen Organen die Mn-Gehalte durch Änderung des Angebots im Futter erhöht oder erniedrigt werden. Die Speicherkapazität der Leber erwies sich jedoch als begrenzt, so daß ab einer bestimmten Höhe eine weitere Steigerung des Mn-Angebotes mit keinem signifikanten Anstieg des Lebermangans verbunden war (136). Bei Kälbern vermochte die Änderung des Mn-Gehaltes im Futter die Mn-Konzentration der Leber nicht zu beeinflussen (61, 140). Hier gaben die Haare die unterschiedliche Manganversorgung recht deutlich wieder (4). Ähnliche Beobachtungen wurden von MEYER und ENGELBERTZ (97) bei Rindern gemacht. Durch eine Erhöhung des Zinkangebotes in der Nahrung konnte der Mn-Gehalt der Haare ebenfalls erhöht werden (61).

Während der Laktation kann die Milchdrüse Mn-Gehalte aufweisen, die jene der Leber weit übertreffen (30).

Haut und Muskeln sollen Ablagerungsstätten für zeitweilig nicht benötigtes Mangan sein (162).

Hühnereier enthalten im Durchschnitt 15 - 16 γ Mn pro Ei (85). Der Eidotter hat einen 4-5fach höheren Mn-Gehalt als das Eiweiß. Sehr wenig Mangan enthält die Schale. Der Mn-Gehalt des Eidotters ist sehr stark von der Mn-Aufnahme des Huhns abhängig. So konnte durch eine ent-

sprechende Fütterung die Mn-Konzentration im Dotter von 0, 004 mg bis auf 0, 033 mg gesteigert werden (47).

3. Das Radionuklid ^{54}Mn

Mit Ausnahme des natürlich vorkommenden stabilen ^{55}Mn sind alle bisher bekannten 11 Isotope des Mangans künstlich erzeugt und radioaktiv. Von diesen Mn-Isotopen haben jedoch in der Biologie nur ^{52}Mn, ^{54}Mn und ^{56}Mn Bedeutung erlangt. ^{52}Mn und ^{56}Mn finden in der Medizin vor allem bei Stoffwechseluntersuchungen und zur Lokalbestrahlung von Lymphknoten Verwendung (164). Als physikalische Halbwertszeit werden für ^{52}Mn 5, 7 Tage und für ^{56}Mn 2, 58 Stunden angegeben (151).

^{54}Mn erscheint als aktiviertes Radionuklid im Fallout von Wasserstoffbomben, bei deren Explosion eine starke Neutronenstrahlung entsteht. die im umgebenden Bombenmaterial eine Aktivität induziert.

Als überwiegender Anteil dieser induzierten Radioaktivität kann bei Wasserstoffbomben ^{54}Mn auftreten. Entsprechend den Reaktionen

$$^{54}Fe \quad (n, p) \quad ^{54}Mn$$
$$^{55}Mn \quad (n, 2n) \quad ^{54}Mn$$

entsteht es meist aus ^{54}Eisen oder stabilem ^{55}Mn. Seine physikalische Halbwertszeit beträgt 314 Tage. Es zerfällt zu 100 % unter Elektroneneinfang und Aussendung einer Bremsstrahlung von 0, 54 MeV und einer Gammastrahlung von 0, 855 MeV zum stabilen ^{54}Chrom.

^{54}Mn gehört aufgrund seiner kurzen biologischen HWZ - sie wird beim Menschen mit 17 Tagen (165) angegeben - und wegen der relativ energiereichen Strahlung zu den Radionukliden mittlerer Radiotoxizität.

Die kritischen Organe beim Menschen sind die Leber und der Gastro-Intestinaltrakt. Die effektive HWZ beträgt für den Gesamtkörper und das Pankreas 5, 6 Tage, für die Nieren 6, 6 Tage und für die Leber 23 Tage (165).

4. Biozyklus von ^{54}Mn

Über den Biozyklus von ^{54}Mn ist nur wenig bekannt. So geht aus der Literatur nicht hervor, in welchen chemischen Verbindungen ^{54}Mn in die Atmosphäre und von dort mit dem Fallout auf die Erdoberfläche gelangt. Gerade dies ist jedoch für die Resorbierbarkeit durch die Pflanzen von entscheidender Bedeutung, da diese letztlich von der Wertigkeitsstufe des Mn in seinen Verbindungen abhängig ist. Pflanzen vermögen nur lösliches 2- und 3-wertiges (mit Hilfe von Mikroorganismen allenfalls noch 4-wertiges) Mangan zu resorbieren (86, 106, 123, 124).

Tritt $^{54}Mangan$ in unlöslichen Verbindungen in die Biospäre ein, so dauert es sehr lange, bis es nach der Umwandlung im Boden in Pflanzen oder Tieren erscheint. Der größte Teil, wenn nicht alles ^{54}Mn, dürfte aufgrund der relativ kurzen HWZ bis dahin zerfallen sein.

SHIPMAN und Mitarbeiter (131) stellten ^{54}Mn in erheblichen Mengen im Fallout des Eniwetok-Testgebietes fest. Nach Arbeiten von WELANDER (153) konnte ^{54}Mn zwar im Boden, nicht aber in den (Land-) Pflanzen und (Land-) Tieren des vom Fallout betroffenen Gebietes nachgewiesen werden. Dies legt nach WANGERSKY (150) die Vermutung nahe, daß ^{54}Mn bei den Bombenexplosionen in unlöslicher Form gebildet wird.

Inzwischen wurden jedoch auch in Futter- und Nahrungsmitteln (Roggen, Weizen, Roggen- und Weizenmehl) (81, 118), in Kuhlebern und in der Leber des Menschen (118) beachtliche Konzentrationen von ^{54}Mn festgestellt, was darauf schließen läßt, daß ein erheblicher Prozentsatz des ^{54}Mn im Fallout in löslicher Form vorliegt.

5. Manganstoffwechsel bei Tier und Mensch

Erst seit wenigen Jahren ist der Manganstoffwechsel Gegenstand eingehender Untersuchungen. Frühere Arbeiten gingen über reine Gehaltsbestimmungen verschiedener Gewebe nicht hinaus.

a) Die Aufnahme

Mangan wird natürlicherweise oral mit dem Futter aufgenommen und im Magen-Darmtrakt resorbiert. Nach WOLFF (162) geschieht dies vorwiegend im Dünndarm.

Die Höhe der Resorptionsquote ist noch nicht eindeutig geklärt. Von der Mehrzahl der Autoren wird sie als sehr niedrig bezeichnet. BERG (13) jedoch behauptet, daß die Mn-Salze "verhältnismäßig sehr leicht" im Magen- und Darmkanal aufgenommen werden. Grundsätzlich kann den Literaturangaben entnommen werden, daß die resorbierte Menge der verabreichten direkt proportional ist (30).

GREENBERG und CAMPBELL (52) stellten bei Versuchen an Ratten fest, daß oral verabreichtes ^{54}Mn zu 97,2 % und parenteral verabreichtes zu 90,7 % innerhalb von 75 Stunden wieder ausgeschieden wurde. Ähnliche Untersuchungen von GREENBERG und Mitarbeitern (53) ergaben für größere i.p. verabreichte Mengen eine Resorptionsrate von 3 - 4 %. Bei Kaninchen passieren nach Feststellungen von ROTH (116) 99 % direkt den Körper. MOHAMMED und GREENBERG (100) fanden bei Küken von oral appliziertem ^{56}Mn über 95 % innerhalb von 72 Stunden im Kot wieder. Bei 6 Monate alten Hühnern erschienen nach HILL (64) 24 bzw. 48 Stunden nach oraler ^{54}Mn-Verabreichung 92 % im Kot wieder. Broiler hatten von oral verabreichtem ^{54}Mn nach 18 Stunden 10,9 % inkorporiert, Legehennen in der gleichen Zeit dagegen nur 2 % (62). Für Schweine geben KIRCHGESSNER und FRIESECKE (80) eine Aufnahmerate von 10 - 15 % an.

Bei umfangreichen vergleichenden Untersuchungen mit ^{54}Mn an Mäusen, Ratten, Affen und Hunden fanden FURCHNER und Mitarbeiter (45) 48 Stunden nach oraler Applikation durchschnittlich 95,5 % der verabreichten Dosis unabhängig von der Tierart in den Faeces wieder. 48 Stunden nach intravenöser oder intraperitonealer Verabreichung hatten Mäuse 27 %, Ratten 24 %, Affen 10 % und Hunde 5 % der ^{54}Mn-Dosis wieder ausgeschieden. Die Ausscheidung über die Niere war zwar sehr gering, jedoch viel höher als bei oraler Eingabe, und zeigte im Verlauf des Versuches einen deutlichen Anstieg. Bei Hunden und Affen war die Exkretion über den Harn höher als bei Mäusen und Ratten.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß allgemein bei allen bisher untersuchten Tierarten die Resorptionsquote zwischen 2 und 10 % (durchschnittlich bei 5 %) liegt. Bei i. p. und i. v. Verabreichung vermuten FURCHNER und Mitarbeiter (45) eine Abhängigkeit der Resorptionsquote von der Körpergröße. Für die Resorption bei oraler Applikation scheint außer der Tierspezies auch die Art der applizierten Mn-Verbindung eine gewisse Rolle zu spielen. HENNIG und Mitarbeiter (62) stellten bei Versuchen mit Broilern fest, daß von drei verschiedenen verabreichten ^{54}Mn-Verbindungen - ($MnO_{1,4}$; $MnSO_4$ und $MnCl_2$) - $MnCl_2$ am besten resorbiert wurde.

Im frühen Lebensalter auftretender Mn-Mangel soll bei Küken die Mn-Resorption weiterhin verbessern (100).

b) Mangan-Ausscheidung

Die Ausscheidung des Mangans erfolgt primär über die Galle in den Darm. GREENBERG und Mitarbeiter (53) konnten bei ihren Untersuchungen an Ratten mit Gallenblasenfisteln 48 Stunden nach der intraperitonealen Verabreichung von 0,01 mg Mn - 26 %, bei Verabreichung von 0,1 mg Mn - 37,3 % der applizierten Dosis in der Galle nachweisen. Das waren 50 - 75 % des gesamten in den Faeces gefundenen Mangans. Dies steht in guter Übereinstimmung mit Beobachtungen bei Hunden (9) sowie bei Menschen mit Gallenblasenfisteln (112).

Durch Erhöhung des Mn-Angebots in der Nahrung konnte bei Untersuchungen von COTZIAS und GREENOUGH (33) die Eliminierung von radioaktivem Mangan aus dem Tierkörper beschleunigt werden.

Nach Vermutungen von WOLFF (162) und Beobachtungen von COTZIAS und Mitarbeitern (32) erfolgt im Darm eine teilweise Rückresorption des mit der Galle ausgeschiedenen Mangans. Durch diesen "entero-hepatischen Kreislauf" besteht die Möglichkeit, daß dasselbe Mangan mehrmals aufgenommen wird und damit wiederholt in Organe und Gewebe gelangt.

Eine gewisse, aber minimale Bedeutung für die Manganausscheidung in den Darm hat nach BURNETT (26) auch der Pankreassaft. Für DÖRNER (38) dagegen stellt neben der Galle die Exkretion über das Pankreas einen der wichtigsten Ausscheidungswege dar.

Bei laktierenden Tieren wird Mangan auch über die Milch ausgeschieden und gelangt so in säugende Jungtiere (30, 52). Nach COTZIAS (31) liegt ein Teil des natürlich aufgenommenen Mangans organisch gebunden in Chelatform vor. So gebundenes Mangan wird im Gegensatz zum anorganisch gebundenen stärker im Blut festgehalten und in meßbaren Mengen auch mit dem Harn ausgeschieden (34, 96).

c) Die Mangan-Verteilung im Tierkörper

Fast alle bisherigen Untersuchungen über die Verteilung des Mangans im Tierkörper wurden mit radioaktiven Mn-Isotopen durchgeführt. Vorwiegend fanden dabei ^{52}Mn, ^{54}Mn und ^{56}Mn Verwendung.

Nach heutigen Erkenntnissen (30) unterliegen Aufnahme und Verteilung dieser Manganisotope im Organismus der Beeinflussung durch verschiedene Faktoren, die bei der Betrachtung der Ergebnisse berücksichtigt werden müssen. So haben die tägliche Zufuhr an stabilem Mangan und die zusammen mit dem Isotop verabreichte Trägermenge großen Einfluß auf den Umsatz des Elements im Körper. Die Anreicherung des Mangans in bestimmten Geweben ist außerdem von der Art der Verabreichung sowie von der zwischen Verabreichung und Untersuchung liegenden Zeitspanne abhängig.

BARGERO (6) und BENEDETTI (9) stellten bei Hunden nach parenteraler Applikation von stabilem Mangan eine primäre Anreicherung in der Leber fest. Bei oraler Verabreichung von ^{54}Mn fanden GREENBERG und CAMPBELL (52) bei der Ratte 2,8 % der Dosis verteilt auf Leber, Knochen, Muskel und Blut, wobei die Leber den höchsten Mn-Gehalt aufwies. Nach intraperitonealer Injektion konnten sie Mangan in Haut, Knochen, Leber, Muskel, Dünndarm und Magen nachweisen. Die höchsten Konzentrationen waren in Haut und Knochen vorhanden. BORN und Mitarbeiter (21) untersuchten die Organe von Ratten innerhalb kurzer Zeitabstände nach i. v. Injektion einer Manganlösung. Während der ersten 4 Stunden

konnten sie, außer in Milz und Blut, eine langsame Zunahme des Mangangehaltes beobachten. Bereits um die 6. Stunde p. inject. trat jedoch eine starke Abnahme ein. Die höchsten Mn-Anreicherungen waren stets in der Leber, gefolgt von Niere und Schilddrüse, festzustellen.

Ebenfalls bei Ratten konnten MAYNARD und COTZIAS (95) 15 bzw. 60 Min. nach i. p. Verabreichung von ^{56}Mn nach einem sehr raschen Absinken des Mn-Blutspiegels die höchsten Konzentrationen in der Leber nachweisen, gefolgt von Pankreas und Niere.

In einer umfassenden Arbeit berichten FURCHNER und Mitarbeiter (45) über die Manganverteilung bei Ratten. Sehr eindrucksvoll zeigen die Ergebnisse die unterschiedliche Ausscheidungsgeschwindigkeit der verschiedenen Gewebe. Leber und Darminhalt enthielten am 1. Tag nach der Verabreichung mit 24, 83 % bzw. 32, 26 % die höchsten Anteile der ^{54}Mn-Aktivität des Gesamttierkörpers. Bis zum 89. Tag waren diese Werte auf 6, 45 % (für Leber) und 7, 54 % (für den Darminhalt) abgesunken.

HENNIG und Mitarbeiter (62) stellten bei Untersuchungen über Aufnahme und Verteilung von ^{54}Mn in Broilern fest, daß die Resorption und Verteilung des Mangans weitgehend von der Art der verabreichten Mn-Verbindung abhängen. Bei Verabreichung des ^{54}Mn als Chlorid oder Oxid war die höchste ^{54}Mn-Konzentration stets in der Leber zu finden. Demgegenüber wurde ^{54}Mangansulfat am stärksten im Gefieder angereichert.

Über die Verteilung des Mangans innerhalb der Leberzellen von Ratten liegen Untersuchungen von MAYNARD und COTZIAS (95) sowie von THIERS und VALLEE (141) vor. MAYNARD und COTZIAS bestimmten die Verteilung des Isotops ^{56}Mn bei intraperitonealer Injektion. Nach Tötung der Ratten wiesen die Mitochondrien der Leberzellen die höchsten Mangangehalte auf. In die Pfortader von frischgetöteten Ratten injizierten THIERS und VALLEE stabiles Mangan zusammen mit anderen Mineralstoffen. Die höchsten Mn-Konzentrationen ermittelten sie in einem Gemisch aus Zellkernen und Restzellsubstanz, gefolgt von klarem Überstand, Mitochondrien, Mikrosomen und Bindegewebe; gleichzeitig konnten sie bei ihren Untersuchungen ein antagonistisches Verhalten von Mangan

und Eisen feststellen. Eine hohe Fe-Konzentration eines Zellbestandteils war mit einer niedrigen Mn-Konzentration verbunden und umgekehrt.

WACKER und VALLEE (148) konnten Mangan in der RNS und in der DNS verschiedener Gewebe nachweisen. Die RNS der Rinderleber enthielt 21 γMn und die DNS 25 γMn pro g Leber. In der RNS von Rattenlebern ermittelten die Autoren einen Gehalt von 33 γMn pro g Leber.

Nach DÖRNER (38) ist Mangan im Blut gleichmäßig auf Serum und Zellen verteilt. Das Serum-Mn ist an Eiweißkörper gebunden und wandert bei der Elektrophorese mit der ß-1 Globulinfraktion.

d) Die physiologische Bedeutung des Mangans

Die Unentbehrlichkeit des Mangans für den Ablauf bestimmter Stoffwechselvorgänge wurde bei Tieren durch künstliche Erzeugung von Mangelzuständen nachgewiesen. Allerdings ist der Wirkungsmechanismus des Mangans im Stoffwechsel noch weitgehend ungeklärt. Alle Vorstellungen beruhen auf Beobachtungen bei in vitro Reaktionen und erlauben daher keine gültigen Rückschlüsse auf das Verhalten und die Funktion des Mangans in vivo. Im Folgenden werden die wichtigsten bisher durchgeführten in vitro Versuche kurz dargestellt.

Der Hauptangriffspunkt des Mangans liegt nach bisherigen Erkenntnissen im Enzymsystem. Hier übt es häufig als Teil eines Enzyms oder dessen prosthetischer Gruppe (128) die Funktion eines Aktivators aus. Einen aktivierenden Einfluß auf Arginase haben zuerst KLEIN und ZIESE (82) und in weiteren Untersuchungen MOHAMMED und GREENBERG (101) beobachtet. Durch Dialyse inaktivierte Hefearginase konnten EDLBACHER und BAUER (39) mit Mn^{++} reaktivieren. Andere 2-wertige Metalle zeigten zwar ähnliche Effekte, jedoch mußten dabei beträchtlich höhere Ionenkonzentrationen angewandt werden. BOYER und Mitarbeiter (23) fanden bei in vitro-Versuchen an Lebern von Mangan-mangelernährten Ratten eine signifikant verminderte Arginaseaktivität. Diese Beobachtungen konnten von SHILS und McCOLLUM (130) bei ähnlichen Untersuchungen bestätigt werden.

Trotz dieser Versuchsergebnisse ist die Bedeutung des Mangans für die Aktivierung der Arginase in vivo zweifelhaft, insbesondere durch die Tatsache, daß Vögel - denen die Arginase fehlt - bei Manganmangel ähnliche Krankheitssymptome wie Säugetiere entwickeln.

Eine aktivierende Wirkung des Mangans wurde auch bei einer ganzen Reihe anderer Enzyme beobachtet. Zu diesen gehören die Cysteindesulfhydrase der Hefen und Bakterien (19), die Thiaminase (110), Karnosinase (56), Desoxyribonuklease (92), Enolase (93), Eingeweideprolinase (135), Glycyl-l-Leucin-Dipeptidase (133) und die Prolidase (134); jedoch soll die Aktivierung nur für die Prolidase spezifisch sein (30).

Untersuchungen über die Anreicherung von injiziertem Mangan in Mitochondrien (95) lassen vermuten, daß Mn auch bei der oxydativen Phosphorylierung eine entscheidende Rolle spielt. LINDBERG und ERNSTER (89) bezeichneten in diesem Zusammenhang das Mangan als notwendigen Kofaktor.

ZETTERSTRÖM und ERNSTER (163) stellten außerdem fest, daß Bilirubin die oxydative Phosphorylierung durch Bindung des Mangans stark stört. Ein von BRONK und KIELLEY (24) beobachteter Mitochondrien-Enzym-Komplex, der die oxydative Phosphorylierung stimuliert, wird am stärksten durch Mangan aktiviert. Leberhomogenisate von Mn-mangelernährten Küken zeigten eine geringere Fähigkeit zur Phosphatveresterung als solche von normalen Tieren (11); die Zugabe von Mn^{++} beseitigte diesen Defekt.

Große Bedeutung soll Mangan nach M.O. AMDUR und Mitarbeitern (3) auch für die Fettsäuresynthese haben, indem es auf die Leber der Ratte eine lipotrope Wirkung ausübt und nach CURRAN (35, 36) die Acetateinlagerung in Fettsäuren stimuliert.

Bei der Cholesterinsynthese scheint Mn als Kofaktor zu wirken, da Untersuchungen von CURRAN (35, 36) ergaben, daß nach Zugabe von Mn^{++} oder Ca^{++} der Acetateinbau in das Cholesterin der Rattenleber stimuliert wird.

Aufgrund der Beobachtungen von B. H. AMDUR und Mitarbeitern (2) scheint Mangan für die Synthese einiger Cholesterinvorstufen unentbehrlich zu sein. Auf seine Beteiligung bei der abnormalen Cholesterinbildung, insbesondere bei Atherosklerose, haben außerdem SCHROEDER und Mitarbeiter (126) hingewiesen.

Außer diesen Funktionen innerhalb des enzymatischen Geschehens sind von Mangan noch andere Wirkungen bekannt. So berichten STEINMANN und Mitarbeiter (139) über mutagene Einflüsse bei Bakterienkolonien und SARACHEK (120) bei Hefen.

RUBENSTEIN und Mitarbeiter (118) beobachteten eine sehr starke Senkung des Blutzuckerspiegels bei Diabetikern nach oraler Verabreichung eines manganhaltigen Pflanzenextraktes. Mangan allein zeigte dieselbe Wirkung.

Auch für die Funktion der Schilddrüse scheint Mangan eine gewisse Bedeutung zu besitzen. So führten nach VERZHIKOVSKAYA und SCHVEIKO (145) hohe Mn-Gaben bei Ratten zu einer Verminderung der Schilddrüsenaktivität. MANESCU und Mitarbeiter (94) konnten mit Mangan, ebenfalls bei Ratten, eine interstitielle Hyperplasie der Schilddrüse hervorrufen.

Andere Spurenstoffe scheinen auch einer Beeinflussung durch Mangan zu unterliegen. Steigende Mengen Mangan im Futter hemmen nach SALTMANN und Mitarbeitern (119) die Aufnahme von Eisen. In manchen Reaktionen soll Mn^{++} außerdem ähnliche Wirkungen wie Mg^{++} zeigen (49, 72, 117).

SEIBOLD (129) beobachtete, daß Mangan im Körper mit Kupfer komplexe Verbindungen eingeht und auf diese Weise Cu-haltige Enzyme inaktiviert. Erhöhte Mn-Zufuhr kann demnach Cu-Mangel vortäuschen.

Die Beweiskraft von in vitro Versuchen für das in vivo ablaufende Geschehen wird allerdings durch weitere Beobachtungen von COTZIAS und GREENOUGH (33) wieder in Frage gestellt, da sie Mangan im Körper auch in trivalentem Zustand nachweisen konnten. Diese Form ist, wenn Mn ungebunden vorliegt, instabil und daher für den Untersucher unzugänglich. Natürlich ablaufende Reaktionen mit dieser Zustandsform können somit in vitro nicht rekonstruiert werden.

Die Vielfalt der möglichen Funktionen eröffnet für radioaktives Mangan ein weites Feld zur Beeinflussung des Stoffwechsels im tierischen Organismus. Welche Einflüsse sich für die enzymatischen Vorgänge ergeben können ist jedoch unbekannt. Zu denken wäre vielleicht an einen frühzeitigen Zerfall der Enzyme ähnlich wie dies von ^{14}C-markierten Vitaminen (Vit. B_1) bekannt ist. In wieweit auch der erwähnte enterohepatische Kreislauf oder Mangan-Mangelzustände für eine evtl. ^{54}Mn-Kontaminierung eine Rolle spielen können, ist derzeit noch unerforscht.

e) Der Manganbedarf

Die Angaben über den Manganbedarf von Mensch und Tier sind in der Literatur sehr zahlreich aber wenig einheitlich. So werden von SMITH und ELLIS (136) für Kaninchen 0,3 mg pro Tier und Tag als ausreichend angegeben (136). Nach HOLTKAMP und HILL (69) benötigen Ratten 0,2 mg/Tier/Tag für ein normales Wachstum, während SHILS und McCOLLUM (130) 0,3 mg pro Ratte für noch nicht optimal erachten.

Für wachsende Schweine geben PLUMLEE und Mitarbeiter (107) einen Mn-Bedarf von 3,5 mg pro kg Futter an. JOHNSON (74) dagegen hält bereits 0,5 mg/kg und UNDERWOOD (143) 1 mg/kg Futter für ausreichend. Bei Zuchtschweinen genügen nach GRUMMER und Mitarbeitern (54) 12 mg/kg Futter zwar für die Knochenentwicklung, nicht aber für die Erhaltung der Fortpflanzungsfähigkeit. Durch höhere Mangangaben konnten Fortpflanzungsstörungen beseitigt werden. KIRCHGESSNER und FRIESECKE (80) konnten diese Beobachtungen nicht bestätigen, nach ihren Angaben wird die Fruchtbarkeit bei Sauen durch eine höhere Mn-Zufuhr als 12 mg/kg Futter nicht verbessert. Sie betrachten 20 mg/kg Futter für Sauen und Ferkel als optimal. LEIBHOLZ und Mitarbeiter (88) geben als Manganbedarf von Ferkeln 0,4 mg/kg Futter an.

Bei Untersuchungen von ANKE (4) erwiesen sich 8,5 mg Mn/kg Futter für Kälber als zu niedrig. UNDERWOOD (143) hält jedoch noch 1 mg/kg Futter für genügend. Bei Kalbinnen und Milchkühen betrachten BENTLEY und PHILLIPS (10) 20 mg/kg Futter mit Sicherheit als ausreichend, unter 10 mg/kg sollen Mangelerscheinungen auftreten. Ähnliche Werte werden auch von KIRCHGESSNER und FRIESECKE (80) angegeben.

Den höchsten Manganbedarf nach den Literaturangaben hat das Geflügel; hier scheinen außerdem rasse- und linienbedingte Unterschiede zu bestehen. Leichte Rassen haben meistens einen geringeren Mn-Bedarf als schwere. GALLUP und NORRIS (47) geben für normales Wachstum und zur Verhinderung der Perosis für weiße Leghornküken einen Bedarf von 30 ppm und für New Hampshireküken 50 ppm im Futter an. KIRCHGESSNER und FRIESECKE (80) halten 50 - 60 mg/kg Futter bei Broilern und 30 - 40 mg/kg bei Legehennen für ausreichend. Der National Research Council der USA (102) empfiehlt für Küken bis 8 Wochen 55 ppm und für Zuchthennen 33 ppm Mangan. Allgemein wird heute ein Gehalt von 50 mg/kg Futter als notwendig angesehen (30, 61). Der Mehrbedarf des Geflügels wird häufig mit dem schnellen Wachstum und der starken Stoffwechselintensität erklärt (143). COTZIAS (30) vertritt jedoch die Ansicht, daß dieser höhere Bedarf nur für anorganisches, nicht dagegen für das natürlich vorkommende Chelat-Mangan besteht.

Für den Menschen ist Mangan als essentielles Spurenelement nicht nachgewiesen. Seine Notwendigkeit wird zwar vermutet, da Mn-Gaben bei gewissen Krankheiten die Heilungstendenz verbesserten (29), doch konnten Mangelerscheinungen bisher nicht beobachtet werden. Der geschätzte tägliche Bedarf wird für Kinder mit 0,2 - 0,3 mg/kg Körpergewicht (43), und für Erwachsene mit durchschnittlich 5 mg pro Person (8) bzw. je nach Art der Speisen mit 3 - 9 mg/Person (79) angegeben.

Aufgrund der sehr unterschiedlichen und oft widersprechenden Angaben über den Manganbedarf wird angenommen, daß die täglich notwendige Manganmenge sehr stark von der Tierart und dem Entwicklungsstadium des Individuums abhängt (30). Die Art der chemischen Verbindung, in der Mangan angeboten wird,sowie die Beeinflussung der Manganaufnahme im Darm durch andere im Überschuß vorhandene Elemente scheinen sich auf die zur Deckung des Bedarfs notwendige Manganmenge im Futter ebenfalls auszuwirken (30, 59, 60).

f) Krankheitserscheinungen bei Manganmangel und -überangebot

Manganmangel ruft bei Säugern und Vögeln einander ähnliche Krankheitserscheinungen hervor. Sie sind gekennzeichnet durch Wachstumsdepressionen, Knochenmißbildungen, Fortpflanzungsstörungen, Störungen im Zentralnervensystem sowie Anomalien im Fett- und Lipidstoffwechsel.

Als erste berichteten KEMMERER und Mitarbeiter (78) über derartige Krankheitsbilder bei Mäusen. Reine Milchdiät löste Wachstumsstillstand und bei weiblichen Tieren auch ovarielle Hypofunktion aus. Bei Ratten mit Mn-Mangel konnten außer diesen Störungen Hodendegeneration, schlechte Laktation und hohe Jungtiersterblichkeit beobachtet werden (37, 104, 149). Weiterhin waren Verkürzungen und Osteoporose der Knochen (3, 7) sowie Anämie (147) festzustellen. Bei der Nachkommenschaft konnten schwerfälliger Gang, Ataxie und Gleichgewichtsstörungen (66, 130) als kongenitale Defekte beobachtet werden (65, 70). Diese ließen sich durch Mangangaben an die Muttertiere in der ersten Hälfte der Trächtigkeit, jedoch nicht mehr in der letzten, verhüten (71). Ähnliche Auswirkungen zeigte Manganmangel bei Kaninchen (137).

Bei Schweinen mit Mn-Mangel beobachteten MILLER und Mitarbeiter (98) sowie KEITH und Mitarbeiter (77) Lahmheiten und Steifheit der Gelenke. Prophylaktisch erwiesen sich Mn-Gaben als erfolgreich. Bei eingetretener Erkrankung blieb eine Behandlung mit Mangan jedoch erfolglos. PLUMLEE und Mitarbeiter (107) fütterten Schweine vom Saugferkelalter (Gewicht ca. 9 Pfd.) bis zur Laktation mit einer Manganmangeldiät (0,5 mg Mangan/kg Futter). Die Schweine wuchsen bei gleichem Futteraufwand ebenso wie Tiere mit 40 mg Mn/kg Futter, allerdings zeigten die mangelernährten Tiere im Alter von 132 Tagen (bei gleichem Körpergewicht wie die normalernährten) eine ausgesprochene Fettsucht. Damit verbunden waren Muskelschwäche, schlechtes Skelettwachstum, Verkürzung der Beine, gestörter Brunstzyklus und Libidoschwäche. Trotzdem wurden alle 5 Tiere trächtig, doch nur 2 Schweine trugen die Jungen aus und ferkelten. Ihre Ferkel waren klein und schwach und zeigten Gleichgewichtstörungen und Ataxie. Sie starben innerhalb von 8 Tagen auch dann, wenn sie normal ernährten Müttern angesetzt wurden.

Bei Rindern bewirkte Manganmangel Verzögerung des Brunsteintritts und Erniedrigung der Konzeptionsrate (10). GRASHUIS (51) beobachtete außerdem Skelettveränderungen, Frühaborte und Neigung zu Endometritiden. HENNIG und Mitarbeiter (63) konnten bei Kühen, die mit manganreichem Futter ernährt wurden, bessere Besamungsergebnisse erzielen. Manganmangelernährte Kälber zeigten neben Veränderungen am Vorderfußwurzelgelenk steifen Gang, Muskelzittern und schlechte Futterverwertung (4).

Hoher Manganbedarf und teilweise zu geringes Angebot (z.B. bei Maisfütterung) lassen bei Geflügel besonders leicht Mn-Mangelerscheinungen entstehen. Sie treten hier vor allem als Chondrodystrophie und Perosis in Erscheinung.

Chondrodystrophie entwickelt sich bereits im embryonalen Stadium der Küken von Mangan-mangelernährten Hennen. Als sog. "Fütterungs"-Chondrodystrophie wurde sie zum ersten Mal von BYERLY und Mitarbeitern (27) beschrieben. Die Erkrankung äußert sich beim Embryo in mangelhaftem Wachstum, Ödemen, Verkürzung und Verdickung der Beine und anderer Knochen, Verkürzung der Mandibula, Auftreibung des Kopfes und Hervorquellen des Abdomens. LYONS und INSKO (91) konnten dieses klinische Bild bei Hennen durch Manganmangel im Futter künstlich hervorrufen. Durch ausreichende Mn-Versorgung der Hennen oder Mn-Injektionen direkt ins Ei konnte der Erkrankung vorgebeugt werden (30).

Perosis entsteht im postnatalen Leben durch mangelhafte Mn-Versorgung der Küken. Ihr Erscheinungsbild ist charakterisiert durch Verdickung und Verkürzung der Knochen, Verkrümmungen und Verdrehungen am Tibia-Metatarsalgelenk und dadurch bedingtes Abgleiten der Archillessehne vom Condylus (daher auch "Slipped Tendon" genannt) (46, 47, 67, 156, 158, 159).

Hennen mit Manganmangel produzieren nur wenige und dünnschalige Eier. Der Mn-Gehalt der Eier ist stark erniedrigt und die Schlüpffähigkeit gering. Die erbrüteten Küken sterben häufig (61).

Ähnliche Krankheitsbilder wurden auch bei Puten (42), Enten (14) und Schwänen (41) beobachtet.

Erkrankungen durch Überangebot sind bei Tieren selten und meist künstlich erzeugt. Hühner tolerieren ohne Schaden bis 1000 ppm pro kg Futter (47); 4800 ppm sind für junge Küken jedoch äußerst toxisch (59). Wachsende Schweine sind gegen Mangan-Überangebot wesentlich empfindlicher; bereits mit 500 ppm treten Störungen von Wachstum und Appetit auf (54).

6. Bestimmungsmethoden für Mn in biologischem Material

Die Bestimmung des ^{54}Mn kann über seine γ-Strahlung bei genügend großen Aktivitäten direkt im Untersuchungsmaterial erfolgen. Geringe Aktivitäten machen eine vorherige Anreicherung erforderlich.

Bei relativ geringem Material-, Zeit- und Arbeitsaufwand läßt sich eine ausreichende Anreicherung häufig schon durch trockene Veraschung erzielen. Evtl. dabei auftretende Manganverluste, wie sie von GUSEVA (55) beobachtet wurden, lassen sich durch behutsames Vorgehen vermeiden.

Eine weitere Anreicherung kann durch Abtrennung des Mangans von den übrigen Aschebestandteilen erzielt werden. Die hierfür notwendige quantitative Manganfällung ist wegen des geringen Mn-Gehaltes und wegen der großen Mengen Begleitmaterial der Aschen oft mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden.

In der Literatur wird eine große Zahl von Fällungsmethoden beschrieben. Die meisten gestatten eine befriedigende Trennung des Mn nur unter besonderen Voraussetzungen.

Die gebräuchlichste Mn-Trennungsmethode ist die Fällung mit Ammoniumphosphat in saurer Lösung und Überführen des Manganammoniumphosphat-Niederschlags in Manganpyrophosphat (146) durch Glühen. Dieses Verfahren erlaubt eine gute quantitative Abtrennung des Mn nur bei relativ hohem

Mn-Gehalt der Proben; außerdem können viele Begleitsubstanzen der Asche auf die Reaktion störend wirken.

Eine quantitative Fällung des Mangans mit Na-Anthranilat (154) und mit Pyridin - Ammoniumrhodanid (154) gelingt ebenfalls nur bei relativ hohen Mn-Konzentrationen. Auch eine Mn-Abtrennung mit Picrolonsäure und mit Tetraphosphoniumchlorid setzt relativ hohe Mn-Gehalte voraus (83).

Eine gute Methode soll die Fällung des Mangans als $Bi_3O_2H_2MnO_4$ (mit $BiOClO_4$) darstellen (58).

Bei dem von GREENBERG und CAMPBELL (52) sowie dem von WHITNEY (155) beschriebenen Verfahren wird Mn durch Oxydation mit $KClO_3$ bzw. $NaClO_3$ als unlösliches MnO_2 gefällt. Bei erheblichen Mengen Begleitmaterial (z. B. bei Knochen) ist dabei jedoch keine ausreichende Trennung gewährleistet. GREENBERG und CAMPBELL (52) fällen das Mn in diesem Fall zuerst mit Schwefelammonium als Mn-Sulfid. Da eine Auswertung des gefällten Mangans in der MnS-Form nicht befriedigt, wird der Niederschlag durch entsprechende Behandlung in $MnSO_4$, MnO_2 oder Mn_3O_4 übergeführt.

Diese Fällungsmethode ist ein Bestandteil des klassischen analytischen Trennungsgangs für Metalle. Mit ihr lassen sich recht brauchbare Ergebnisse erzielen, da sich Mn von anderen etwa mitgefällten Metallen der Schwefelammoniumgruppe gut abtrennen läßt. Die Möglichkeit, daß Spuren von Mn teilweise im Filtrat gelöst bleiben, also nicht immer eine vollkommene Fällung erreicht wird, läßt sich nicht ausschließen (90).

Bei geringen Mengen Mangan kann nach LUX (90) die elektrolytische Abscheidung unter Zusatz von Bleidioxid als Träger eine Trennung ermöglichen. Doch muß das Mangan hierbei erst noch aus dem an der Anode abgeschiedenen Gemisch beider Substanzen abgetrennt werden.

REMY (111) empfiehlt die Elektrolyse ebenfalls als brauchbares Verfahren. Bei der von ihm beschriebenen Methode wird Mn aus stark salpetersaurer Lösung als Dioxidhydrat an der Anode abgeschieden.

C. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

I. MATERIAL UND METHODIK

1. Allgemeines

Widersprechende Angaben über die Verteilung des Mangans im Tierkörper behindern die Feststellung und Beurteilung von ^{54}Mn-Gehalten in Schlachttierkörpern erheblich.

In den eigenen Untersuchungen sollen daher Verteilung und Ausscheidung sowie Umlagerungen des ^{54}Mn im Körper von Hähnen über einen längeren Zeitraum (57 Tage) beobachtet werden. Gleichzeitig sollen durch Untersuchung möglichst vieler Körpergewebe diejenigen Gewebe ermittelt werden, die aufgrund ihrer starken ^{54}Mn-Anreicherung eine Beurteilung der ^{54}Mn-Kontamination des Tierkörpers relativ einfach ermöglichen.

Zur Bestimmung der Resorptionsquote im Magen-Darmkanal wird ^{54}Mn oral und ohne Trägerzusatz appliziert. Um in entsprechenden Geweben aller Tiere ungefähr gleiche Konzentrationen zu erreichen, werden die einzugebenden ^{54}Mn-Aktivitäten nach kg Lebendgewicht verabreicht. Dies geschieht in der Annahme, daß sich Größe und Entwicklung der verschiedenen Organe ungefähr proportional zum Körpergewicht verhalten.

Zur Nachahmung der natürlichen Aufnahmeverhältnisse werden die ^{54}Mn-Aktivitäten möglichst niedrig gehalten. Dennoch sollen in allen untersuchten Körpergeweben evtl. vorhandene ^{54}Mn-Gehalte auch nach einem längeren Zeitraum noch mit ausreichender Genauigkeit und in vertretbaren Meßzeiten nachgewiesen werden können. Die zu verabreichenden ^{54}Mn-Aktivitäten dürfen daher besonders im Hinblick auf die schlechte Resorption des Mangans im Magen-Darmkanal und die Verdünnung und Verteilung im Organismus nicht zu niedrig gewählt werden. Zur Ermittlung einer geeigneten Aktivität erschienen daher Vorversuche unerläßlich.

Die eingegebenen niedrigen ^{54}Mn-Aktivitäten bedingen geringe ^{54}Mn-Gehalte in den Geweben. Zur Messung der ^{54}Mn-Aktivitäten der Gewebe ist daher eine vorherige Anreicherung notwendig. Wegen der relativ energiereichen γ-Strahlung des ^{54}Mn kann bei fast allen Proben schon durch trockene Veraschung eine genügende Anreicherung erzielt werden. Die ^{54}Mn-Aktivitäten werden am besten durch direkte γ-spektrometrische Messung der erhaltenen Aschen bestimmt. Bei sehr geringen ^{54}Mn-Gehalten besonders gegen Versuchsende und bei Aschen mit viel Begleitsubstanz (z. B. Knochenaschen) kann durch eine Mn-Analyse eine weitere Anreicherung erreicht werden. Durch den geringen Arbeitsaufwand und die besondere Behandlung von Proben mit viel Begleitmaterial erscheint das von GREENBERG und CAMPBELL (52) beschriebene Verfahren zur Analyse sehr geeignet.

Um unterschiedliche chemische Zusammensetzungen des Muskelgewebes bei den gefundenen ^{54}Mn-Werten berücksichtigen zu können, werden auch Wasser-, Fett- und Eiweißgehalt der Muskulatur bestimmt.

Die Ermittlung der biologischen HWZ in den Geweben und im ganzen Tierkörper der Hähne wird durch die Zahl der Untersuchungen und die Länge der Versuchsperiode wesentlich erleichtert. Sie soll daher mit in das Untersuchungsprogramm einbezogen werden.

2. Tiermaterial

Für die Untersuchungen standen 40 Hähne einer weißen Leghorn-Hyline-Rasse zur Verfügung. Die Tiere wurden als Eintagsküken übernommen und in den Versuchsanstellungen des Instituts aufgezogen. Zur Kennzeichnung erhielten alle Tiere Flügelmarken.

3. Haltung und Fütterung der Versuchstiere

Mehrere Tage vor Beginn der Untersuchungen wurden die Tiere in die eigentlichen Versuchskäfige verbracht, die mit Gitterböden und Kotsammelblechen ausgestattet waren.

Während der Aufzucht und der Versuchsperiode erhielten die Tiere handelsübliches, standardisiertes Fertigmischfutter und frisches Trinkwasser ad libitum. Durch die Verwendung von standardisiertem Mischfutter sollten Einflüsse einer unterschiedlichen Futterzusammensetzung, insbesondere eine ungleichmäßige Zufuhr von stabilem Mangan, ausgeschlossen werden. Die Zusammensetzung der Futtermischung gibt folgende Tabelle wieder:

Jungtier-Alleinfutter (Mischfutter)

55, 00 %	Futtergetreideschrot, und zwar: 45 % Mais, 10 % Hafer
10, 00 %	Eiweißkonzentrat (Mischfutter), bestehend aus: 40, 00 % Fischmehl; 39, 60 % Sojaschrot, extr.; 10, 00 % fish-solubles getr.; 9, 90 % Trockenhefe; 0, 50 % Baciferm = 100 %
9, 00 %	Tapiokamehl
7, 60 %	Sojaschrot, extr.
4, 46 %	Maiskeimschrot
4, 00 %	Weizenkleie mit 0, 10 % Vitamin E-Konzentrat angereichert
4, 00 %	Weizenvollmehl mit 0, 60 % Vitamin-Konzentrat Rovimix LI angereichert
2, 50 %	Luzernegrünmehl mit 0, 03 % Vitamin B 12-Konzentrat anger.
1, 40 %	kohlensaurer Kalk
1, 00 %	Melasse
1, 00 %	Mineralstoffmischung G 59
0, 04 %	Methionin DL
100, 00 %	

Der Mangangehalt beträgt nach Angaben des Herstellers 60 - 70 mg Mn pro kg Futtermischung.

Durch wiederholte γ-spektrometrische Untersuchungen von Futter und Trinkwasser auf ihre radioaktive Kontamination konnte eine Verfälschung der Versuchsergebnisse ausgeschlossen werden.

Zur Berechnung der individuellen ^{54}Mn-Dosis und zur Erfassung krankhafter Gewichtsveränderungen wurden die Versuchstiere vor Beginn jeder Versuchsreihe und vor der Schlachtung gewogen.

4. Durchführung der Versuche

Die Verabreichung der ^{54}Mn-Aktivitäten erfolgte nach 12-stündigem Futterentzug durch direktes Einpipettieren in den Kropf. Anschließend wurde mit Trinkwasser nachgespült und den Tieren freier Zugang zum Futter gewährt. Dieses Verfahren garantierte eine sichere und genaue Dosierung und verhinderte Verluste, wie sie bei anderen Methoden auftreten können. Als ^{54}Mn-Präparat diente eine $^{54}Mn(NO_3)_2$-Standard-Lösung des Radiochemical Center Amersham.

a) Vorversuche

Für die Vorversuche wurden 5 Hähne verwendet, die zu Versuchsbeginn 8 Wochen alt und durchschnittlich 700 g schwer waren. Die ausgewählten Tiere wurden in 3 Gruppen aufgeteilt (Gruppe A = 2 Tiere; Gruppe B = 2 Tiere und Kontrollgruppe: 1 Tier). Unter den beschriebenen Applikationsbedingungen erhielten die Hähne der Gruppe A je 60 nCi/kg und jene der Gruppe B je 30 nCi/kg ^{54}Mn oral verabreicht. Das Kontrolltier blieb unbehandelt.

Von jedem Hahn wurde beginnend einen Tag vor der ^{54}Mn-Verabreichung bis zur Schlachtung täglich eine Kotprobe[+] entnommen.

Am dritten Tag nach der Eingabe wurde je ein Hahn aus Gruppe A und B und am 6. Tag die restlichen Hähne sowie das Kontrolltier geschlachtet. Die Tierkörper wurden nach dem Brühen und Rupfen sofort zerlegt und der Magen-Darmtrakt sowie Haut, "Organe"[++], Knochen und Muskulatur auf ihren ^{54}Mn-Gehalt untersucht. Die Verarbeitung der Proben und die Bestimmung ihrer ^{54}Mn-Aktivität erfolgte nach den im Hauptversuch beschriebenen Verfahren.

[+]) Kot = gesamte Exkrete, die über die Kloake ausgeschieden werden.

[++]) In der Probengruppe "Organe" sind Leber, Lunge, Herz, Nieren und Milz zusammengefaßt.

aa) Ergebnisse und Besprechung der Ergebnisse aus dem Vorversuch

Bereits am 1. Tag nach der Applikation enthielten die Kotproben bei allen Tieren über 90 % der verabreichten ^{54}Mn-Dosis.

Nachweisbare Aktivitäten waren am 3. Tag in "Organen", Magen-Darmtrakt und Haut des Hahnes der Gruppe A sowie in geringem Umfang auch in "Organen" und Magen-Darmtrakt des Hahnes der Gruppe B vorhanden. Am 6. Tag p. applicationem waren nur noch in den "Organen" des Hahnes aus Gruppe A geringe Aktivitäten nachweisbar.

Nach den Ergebnissen des Vorversuches mußten die verabreichten ^{54}Mn-Aktivitäten von 30 nCi/kg bzw. 60 nCi/kg als zu niedrig betrachtet werden. Für die weiteren Untersuchungen wurde deshalb eine ^{54}Mn-Aktivität von ca. 100 nCi/kg Körpergewicht festgelegt. Diese Aktivität schien aufgrund der Beobachtungen bei den Versuchen mit 60 nCi ^{54}Mn/kg Körpergewicht auszureichen, um auch längere Zeit nach der Applikation meßbare ^{54}Mn-Aktivitäten in den Geweben des Tierkörpers zu erzielen.

b) Hauptversuch

Bei Beginn des Hauptversuchs waren die Versuchstiere 4 Monate alt und hatten ein Durchschnittsgewicht von 1 690 g. Von den 35 Hähnen blieben 6 als Kontrolltiere unbehandelt und wurden gesondert gehalten. 29 Hähne erhielten nach der beschriebenen Methode 103,4 nCi+) ^{54}Mangan pro Kg Körpergewicht verabreicht. Die verabreichten ^{54}Mn-Aktivitäten sind aus Tabelle 1 ersichtlich.

Zur exakten Erfassung der Manganausscheidung über den Kot wurden 4 behandelte Hähne in Einzelkäfigen und die 6 Kontrolltiere in einem Gemeinschaftskäfig gehalten. Die restlichen Tiere wurden auf 5 Gemeinschaftskäfige verteilt.

+) Die Wahl dieser Dosis erfolgte aus verfahrenstechnischen Gründen.

ba) Probenentnahme:

Die Entnahme des Kotes erfolgte alle 24 Stunden, bei behandelten und Kontrolltieren jeweils getrennt, beginnend einen Tag vor der Verabreichung bis zum 57. Tag nach Versuchsbeginn. Zu diesem Zweck wurden die Kotbleche der Einzelkäfige und des Gemeinschaftskäfigs der Kontrolltiere täglich herausgenommen, der Kot sorgfältig entfernt und in Porzellanschalen gesammelt. Anschließend wurden die ausgeschiedenen Gesamtkotmengen bestimmt und entsprechend der Tierzahl die durchschnittliche Kotmenge pro Tier berechnet. Nach guter Durchmischung wurde eine aliquote Probe entnommen und zur weiteren Verarbeitung in Quarzschalen gefüllt.

Die Schlachtung der Tiere wurde so festgelegt, daß nach jeweils 3 Schlachtterminen das Zeitintervall zwischen den Schlachtungen um einen Tag verlängert wurde (1. - 2. - 3.; 5. - 7. - 9.; 12. - 15. - 18. Tag usw. bis zum 57. Tag). Bis zum 30. Tag wurden an jedem Schlachttag zwei Tiere (Ausnahme: am 9. Tag nur 1 Tier), anschließend bis Versuchsende nur noch jeweils 1 Tier geschlachtet. Am 2., 12., 35. und 51. Tag kamen zusätzlich je ein und am 22. Tag zwei Kontrolltiere zur Schlachtung.

Unmittelbar nach der Tötung wurden die Tierkörper gebrüht, gerupft, zerlegt und anschließend die Proben für die ^{54}Mn-Bestimmungen (Magen-Darmtrakt, Haut, "Organe"+), Knochen, Muskulatur) entnommen. Bei einigen Tieren wurden auch Hoden und Federn sowie bei der Schlachtung aufgefangenes Blut mit in die Untersuchungen einbezogen. Alle Proben wurden sofort nach der Entnahme gewogen und weiterverarbeitet.

5. Aufbereitung des Probenmaterials und Veraschung

Mit Ausnahme bei Muskulatur und Blut wurde immer die gesamte vorhandene Probenmenge nach dem anschließend beschriebenen Verfahren verascht. Aus der Gesamtmuskulatur wurden nach Zerkleinerung und gründ-

+) siehe Anmerkung r+) S. 25

licher Durchmischung ca. 300 g zur Veraschung verwendet und weitere 30 g für die Eiweiß-, Fett- und Wasserbestimmung entnommen. Haut, "Organe", Magen-Darmtrakt, Hoden und Muskulatur wurden in Rotosil-Quarzschalen eingewogen und 2 - 3 Tage bei 160 - 180°C getrocknet. Die hierdurch erzielte Verminderung der Schichtdicke verhinderte bei der nachfolgenden Veraschung ein Überquellen des Probenmaterials. Verascht wurden die Proben etwa 36 bis 48 Stunden im Muffelofen bei einer Endtemperatur von ca. 500°C, bis die Asche eine hellgraue Farbe erreicht hatte. Im Temperaturbereich zwischen 200° und 350°C mußte besonders bei Muskulatur, Magen-Darm und Haut die Temperatur äußerst vorsichtig gesteigert werden um das erwähnte Überquellen und ein evtl. Entflammen des Fettes zu vermeiden. Durch den langsamen Temperaturanstieg konnte überdies zu starker Rauchentwicklung und damit Rauchverlusten vorgebeugt werden.

Die Knochen wurden ohne Trocknung sofort in den Muffelofen gegeben und bei 300 - 350°C etwa 3 - 4 Std. vorverascht, dann herausgenommen, fein zerstoßen und bei der Endtemperatur von ca. 500°C 36 Std. weiterverascht.

Aufgrund des großen Volumens der Federn mußte hier ein besonderes Verfahren zur Veraschung angewendet werden. In Quarzschalen, mit einem Fassungsvermögen von maximal 1/5 bis 1/4 des Gesamtvolumens der Federn wurde die größtmögliche Menge eingefüllt und nach Ansengen mit der Bunsenflamme im Muffelofen bei 200 - 300°C verkohlt. Mit jeder Federnprobe wurde 4 - 5 Mal so verfahren bis die Quarzschale die gesamte Probenmenge faßte. Anschließend wurde die Ofentemperatur auf 500°C gesteigert und das Probenmaterial ca. 36 Std. verascht.

Abweichend vom hier beschriebenen Verfahren wurden Lebern, Nieren, Lungen, Herzen und Milzen der am 5. und 22. Versuchstag getöteten Tiere zur genaueren Ermittlung des ^{54}Mn-Verteilungsmusters getrennt untersucht. Wegen der sehr geringen Probenmenge mußten die entsprechenden Organe der Tiere eines Schlachttages zusammen verarbeitet werden, so daß sich nur ein durchschnittlicher ^{54}Mn-Wert bestimmen ließ. Mit den Organen der am 22. Versuchstag geschlachteten Kontrolltiere wurde ebenso verfahren. Die Versuchsbedingungen waren dieselben wie bei den übrigen "Organen".

Blut wurde im Trockenschrank bei 105 - 110°C gut getrocknet (mindestens 3 - 4 Tage), bis ein harter, spröder Kuchen entstanden war. Dann wurde zur Bestimmung des Wasserverlustes gewogen und die trockene Blutmasse in einem Mixgerät pulverisiert. Das Blutpulver wurde ohne weitere Verarbeitung direkt auf seinen ^{54}Mn-Gehalt untersucht.

Die Kotproben wurden bei 105 - 110°C kurz getrocknet und dann bei 500°C etwa 36 Std. im Muffelofen verascht.

6. γ-spektrometrische ^{54}Mangan-Bestimmung

Zur Bestimmung der ^{54}Mn-Aktivität der Asche- und Analysenproben diente ein SCIPP-400-Kanal Impulshöhenanalysator der Firma VICTOREEN mit einem 2 x 2" Bohrlochkristall (Bohrlochdurchmesser 2,5 cm, Bohrlochtiefe 4 cm). Die Aschen wurden zur Messung der γ-Aktivität des ^{54}Mn in Polyäthylenbehälter mit einem Durchmesser von 2,3 cm und einer Höhe von 4,25 cm eingewogen. Die Einwaage betrug je nach vorhandener Aschemenge für Hoden 200 mg, für Magen-Darm, Haut und "Organe" je 500 mg, für Federn 1 g, für Kot 2,5 g und für Knochen sowie Blutpulver je 5 g. Dabei wurde besonders auf die Konstanz der geometrischen Verhältnisse innerhalb einer Probengruppe geachtet. Die Meßzeit betrug mindestens 150 Min., in Extremfällen bei sehr niedrigen Aktivitäten bis zu 600 Min. Die Ermittlung der Nullwerte erfolgte durch wiederholte Messung der entsprechenden Aschen von Kontrolltieren.

Die Eichpräparate für die Aschen wurden folgendermaßen hergestellt: Zu jeweils 3 bzw. bei Federn, Hoden und Blut zu 2 Kontrollaschen einer Probengruppe wurden 3 bzw. 2 verschiedene ^{54}Mn-Aktivitäten gegeben, die sich in der Größenordnung der gemessenen Aktivitäten bewegten. Nach der Trocknung bei ca. 60°C wurden diese Eichpräparate unter denselben Bedingungen wie die übrigen Aschen gemessen. Um bei der Messung Schwankungen der Empfindlichkeit des Gerätes sowie Verschiebungen des ^{54}Mn-Peak feststellen zu können, wurden nach etwa 4 - 5 Meßproben jeweils ein Eich- und ein Kontrollaschepräparat gemessen.

Bei der Messung der Ascheproben der getrennt veraschten Einzelorgane wurde wie folgt verfahren: Mit der Asche der Kontrolltiere wurden zunächst durch mehrere Messungen die Nullwerte ermittelt. Sodann wurden durch Zugabe einer ^{54}Mn-Aktivität zu jeder Ascheprobe die Eichpräparate hergestellt. Zur Feststellung der Aktivitätsverteilung auf die einzelnen Organe wurden die entsprechenden Aschen jeweils getrennt gemessen. Danach wurden die Aschen dieser Organe (Leber, Lunge, Herz, Nieren, Milz) der an einem Tag geschlachteten Hähne gut vermischt, aus dem Gemisch 0,5 g in Polyäthylenbehälter eingewogen und die ^{54}Mn-Aktivität erneut bestimmt. Die nochmalige Messung der vermischten Aschen war notwendig um in der Probengruppe "Organe" bei allen Versuchstieren vergleichbare Werte zu erhalten.

Der MnO_2-Niederschlag aus den nachfolgend beschriebenen chemischen ^{54}Mn-Analysen wurde nach dem Wiegen zusammen mit dem Filterpapier in Polyäthylenbehälter gleichmäßig eingedrückt und entsprechend der bei Aschen angewandten Methode gemessen.

7. ^{54}Mangan-Analyse

Zur Kontrolle der Aschemessungen wurden von mehreren Aschen auch chemische Mn-Analysen in Anlehnung an die von GREENBERG und CAMPBELL (52) beschriebene Methode durchgeführt. Zur Erzielung einer guten Ausbeute und etwas größerer Niederschlagsmengen wurden in Abänderung dieses Verfahrens statt 1 mg jeweils 5 mg Mn-Träger zugesetzt. Je nach vorhandener Aschemenge wurden in einem 100 ml Becherglas 0,2 bis 0,5 g Asche eingewogen, 5 ml einer Manganträger-Lösung+) zugegeben und das Ganze in verdünnter HCl unter Erwärmen gelöst. Anschließend wurde über Blaubandfilter filtriert und das Filtrat bis zur Trockene eingedampft. Nach Zugabe von konzentrierter HNO_3 wurde erneut erhitzt und eingedampft. Dieser Schritt wurde zweimal wiederholt. Der Rückstand wurde mit heißer, konzentrierter HNO_3 gelöst und durch Zugabe einiger Kristalle $KClO_3$ das Mn als MnO_2 gefällt. Nach Abfiltrieren wurden dem Filtrat erneut 5 ml Mn-Trägerlösung zugesetzt und das

+) 1 ml Mn-Trägerlösung enthielt 1 mg Mn (= 3,077 g $MnSO_4 \cdot H_2O$ ad 1000 ml)

Mangan wiederum als MnO_2 gefällt. Damit alles Mangan in einer Probe vereinigt war, wurde der Niederschlag über dasselbe Filterpapier abfiltriert und danach Filterpapier und Niederschlag bei 90 - 100°C im Trockenschrank getrocknet.

Die Mn-Analyse aus den Aschen der Knochen erforderte ein etwas abgeändertes Verfahren. Zu 5 g Knochenasche wurden 5 ml Mangan-Trägerlösung gegeben und die Asche mit verdünnter Salzsäure unter Erhitzen gelöst und Ungelöstes abfiltriert. Das Filtrat wurde in einen 250 ml Erlenmeyerkolben überführt und bis zur Trockene eingedampft. Der Rückstand wurde mit wenig aqua dest. gelöst und NH_4Cl im Überschuß zugesetzt. Zur Fällung des Mangans als Sulfid wurde daraufhin frisch präparierte $(NH_4)_2S$-Lösung zugegeben, mit heißem aqua dest. aufgefüllt und der Kolben verschlossen. Nach 12 Stunden wurde der Niederschlag abfiltriert und das MnS mit wenig verdünnter HCL vom Filterpapier gelöst und das Mn anschließend, wie bei den anderen Proben beschrieben, als MnO_2 gefällt.

Zur Herstellung der Eichpräparate wurden verschiedene Aktivitäten einer $^{54}MnNO_3$-Lösung entsprechend behandelt. Außerdem wurden zur Bestimmung des Nulleffekts zwei Präparate mit Mn-Trägerlösung unter denselben Bedingungen hergestellt.

8. Bestimmung von Wasser-, Fett- und Eiweißgehalt der Muskulatur

Die Bestimmung des Wasser-, Fett- und Eiweißgehaltes der Muskulatur erfolgte nach den im Laborbetrieb üblichen Routinemethoden:

Wasserbestimmung durch Trocknen des Probenmaterials bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz;

Fettbestimmung nach dem Verfahren von Soxhlet-Henckel mit 7-stündiger Ätherextraktion;

Gesamt-Eiweißbestimmung durch Ermittlung des Stickstoffwertes (nach Kjeldahl) und Multiplikation mit dem Faktor 6, 25.

II. ERGEBNISSE UND BESPRECHUNG DER ERGEBNISSE

Aus Tabelle[+)] 1 sind die Körpergewichte der Hähne zu Beginn des Versuchs und am Tage der Schlachtung (=Untersuchungstag) zu ersehen; außerdem sind die den einzelnen Hähnen verabreichten ^{54}Mn-Aktivitäten mit aufgeführt.

Während des Versuches haben die Hähne im allgemeinen nur wenig zugenommen; bei einigen war sogar eine leichte Gewichtsabnahme zu verzeichnen. Den größten Gewichtsverlust wies der Hahn Nr. 207 auf (ca. 700 g). Er mußte wegen fortgeschrittener Kachexie vorzeitig geschlachtet werden.

In Tabelle 2 sind die durchschnittlichen, täglichen Kotmengen von 4 behandelten und 6 Kontrolltieren zusammengestellt; außerdem wird der Aschenanteil des Kotes in %, die täglich ausgeschiedene ^{54}Mn-Gesamtaktivität e. e. Hahnes sowie die ausgeschiedene ^{54}Mn-Aktivität bezogen auf 100 g Frischkot in pCi und in % (bezogen auf die verabreichte Dosis) angegeben. Zur prozentualen Berechnung der ausgeschiedenen ^{54}Mn-Aktivität wurde die den 4 behandelten, zur Kotentnahme bestimmten Hähnen durchschnittlich verabreichte ^{54}Mn-Dosis mit 100 % bezeichnet. Zum Vergleich sind der Tabelle auch die täglichen Kotmengen und die Ascheprozente des Kotes der Kontrollhähne angefügt. Die ^{54}Mn-Ausscheidung pro Tier und Tag ist für die gesamte Versuchsdauer in Abb. 1 graphisch dargestellt. Von einem Hahn wurden täglich zwischen 112,8 und 192,1 g Kot ausgeschieden. Die Aschewerte des Kotes lagen zwischen 3,6 und 5,95 %.

Aus der Tabelle geht hervor, daß bereits am ersten Tag nach der Verabreichung 92 % der applizierten Dosis mit dem Kot wieder ausgeschieden worden waren. Am 2. Tag enthielt der Kot nur noch ca. 1 % der verabreichten ^{54}Mn-Aktivität. Im Verlauf der folgenden Tage sank dieser Wert ziemlich gleichmäßig ab, bis er am 27. Tag die meßtechnische Nachweisgrenze erreicht hatte. Insgesamt wurden bis dahin 96,8 % der verabreichten ^{54}Mn-Aktivität wieder ausgeschieden. Unter der Voraussetzung

---

+) Tabellen 1 - 11 und 13 siehe Anhang

daß alles ^{54}Mn, das am 1. Tag nicht im Kot vorhanden war, resorbiert wurde, ergibt sich für $^{54}Mn(NO_3)_2$ eine Resorptionsquote von 7.93 %. Bis zum 11. Tag wurden insgesamt ca. 50 % des resorbierten ^{54}Mn wieder ausgeschieden.

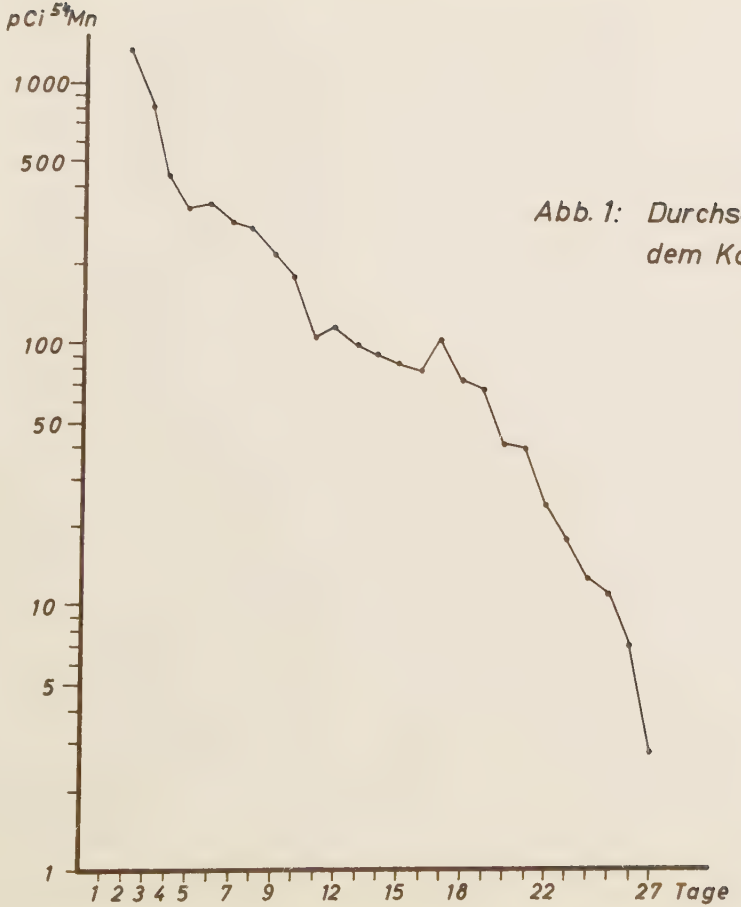


Abb. 1: Durchschnittlich pro Tier und Tag mit dem Kot ausgeschiedene ^{54}Mn-Aktivität

Die Tabellen 3 bis 7 zeigen die ^{54}Mn-Gehalte von Magen-Darmtrakt, Haut, "Organen", Knochen und Muskulatur bezogen auf 100 g Frischgewicht und 1 g Asche sowie das Gesamtgewicht der entnommenen Proben und ihren Ascheanteil in %. Wegen der relativ kurzen physikalischen HWZ des ^{54}Mn wurden alle ^{54}Mn-Aktivitäten auf den Verabreichungstag zurückberechnet.

Die γ-spektrometrisch ermittelten ^{54}Mn-Werte der Aschen und der chemischen Analysen zeigten eine sehr gute Übereinstimmung, so daß auf eine gesonderte Kennzeichnung und Besprechung der ^{54}Mn-Gehalte der Analysenproben verzichtet werden kann.

In Abb. 2 wurden die ^{54}Mn-Werte der Tabellen 3 bis 7 bezogen auf 100 g Frischgewicht graphisch dargestellt.

In allen Geweben konnten die höchsten ^{54}Mn-Konzentrationen stets am 1. Tag nach der Verabreichung festgestellt werden. Es folgt ein steter, in den verschiedenen Geweben aber unterschiedlich rascher Abfall der ^{54}Mn-Aktivitäten bis zum Ende der Versuchsperiode.

Die "Organe" (Leber, Lunge, Herz, Nieren, Milz) wiesen am 1. Tag mit durchschnittlich 7 413 pCi ^{54}Mn/100 g Frischgewicht von allen untersuchten Geweben die höchste ^{54}Mn-Aktivität auf. Sie ging relativ rasch zurück und erreichte zwischen dem 3. und 5. Tag die Hälfte und um den 35. Tag ca. 1 % ihrer ursprünglichen Höhe. Die Aschewerte der "Organe" lagen bei durchschnittlich 1,22 %.

Mit 4 750 pCi ^{54}Mn/100 g Frischgewicht hatte der Magen-Darmtrakt nach den "Organen" am 1. Untersuchungstag ebenfalls eine weit höhere ^{54}Mn-Konzentration als die übrigen Körpergewebe. Von allen Geweben zeigte er den schnellsten Abfall der ^{54}Mn-Aktivität. Bereits am 2. Tag war sie um etwa 50 % geringer. Um den 5. Tag betrug sie noch 10 % und fiel bis zum 22. Tag auf etwa 1 % ihres Ausgangswertes ab. Der Ascheanteil des Magen-Darmtraktes betrug durchschnittlich 1,03 %.

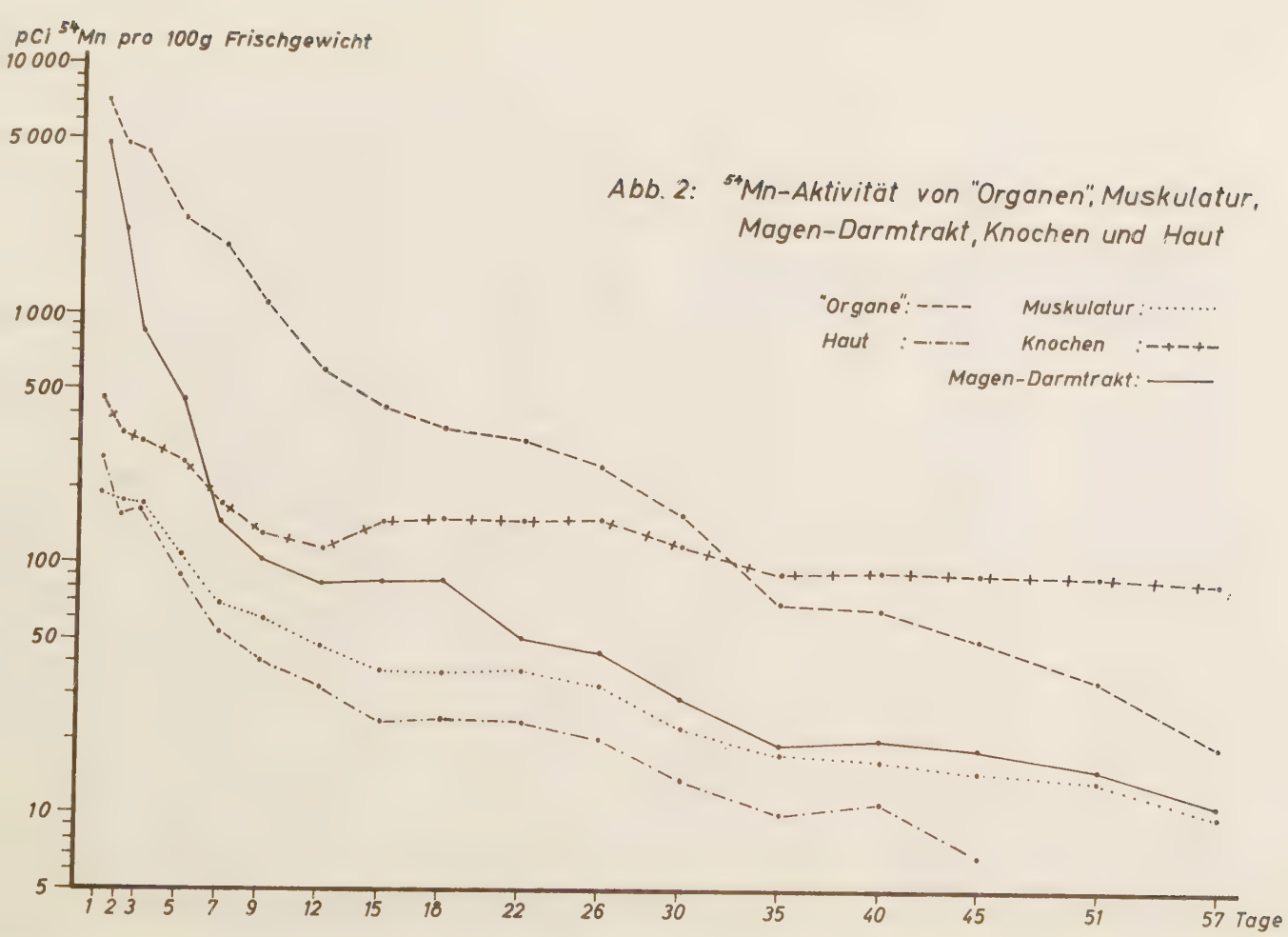


Abb. 2: ^{54}Mn-Aktivität von "Organen", Muskulatur, Magen-Darmtrakt, Knochen und Haut

Bei der Haut mit etwa 265 pCi ^{54}Mn/100 g Frischgewicht war ebenfalls ein relativ rascher Abfall zu beobachten. Zwischen dem 3. und 5. Tag waren noch etwa 50 % und zwischen dem 12. und 15. Tag noch 10 % ihrer Ausgangsaktivität vorhanden.

Am ersten Untersuchungstag enthielten die Knochen 486 pCi und die Muskulatur 1[illegible] pCi ^{54}Mn/100 g Frischgewicht. Beide Gewebearten zeigten die langsamste Abnahme des ^{54}Mn-Gehaltes von allen untersuchten Geweben. Ihre ^{54}Mn-Aktivität war zwischen dem 5. und 7. Tag auf 50 % abgesunken und erreichte bei der Muskulatur um den 12. Tag und bei den Knochen erst um den 30. Tag ca. 25 % ihrer anfänglichen Höhe. Der durchschnittliche Aschegehalt betrug bei Knochen 24,67 % und bei der Muskulatur 1,15 %.

Die ^{54}Mn-Werte der Hähne Nr. 207 und 232 wichen in allen untersuchten Geweben ganz erheblich von den vergleichbaren Werten der übrigen Tiere ab.

Alle Gewebsproben des Hahnes Nr. 207 besaßen durch die Kachexie des Tieres, deren Ursache nicht zu ergründen war, ein bedeutend geringeres Gewicht. Bei "Organen" und Knochen waren außerdem die Aschewerte erhöht. Die ^{54}Mn-Konzentrationen in den "Organen" und im Magen-Darmtrakt des Hahnes 207 zeigten am 16. Tag mit 927 pCi bzw. 109 pCi ^{54}Mn/100 g Frischgewicht Werte, wie sie bei entsprechenden Proben der übrigen Tiere am 9. Tag zu finden waren. Die ^{54}Mn-Gehalte in Muskulatur und Knochen waren dagegen erniedrigt und bewegten sich in einer Höhe, wie bei vergleichbaren Gewebsproben der Hähne vom 26. - 30. bzw. 35. Tag. Der ^{54}Mn-Gehalt des Gesamtkörpers war am 16. Tag bereits um 22 % niedriger als bei anderen Versuchstieren am 18. Tag.

Bei Hahn Nr. 232, der am 26. Tag getötet worden war, konnten makroskopisch keine pathologischen Veränderungen beobachtet werden. Das Gewicht der einzelnen Gewebsproben und deren Aschegehalte wichen kaum von den Werten der übrigen Tiere ab. Auffallend war jedoch, daß die ^{54}Mn-Aktivität der Organe dieses Tieres etwa so hoch war wie bei anderen Tieren am 9. Tag, während die ^{54}Mn-Gehalte der übrigen Körpergewebe weit unter den vergleichbaren Werten des am selben Tag geschlachteten Hahnes lagen.

Die Tabellen 8 bis 10 enthalten Probenmenge. ^{54}Mn-Aktivität und, soweit vorhanden, auch Ascheprozente von Blut, Hoden und Federn der Tiere, bei denen die entsprechenden Untersuchungen durchgeführt wurden. Die ^{54}Mn-Aktivitäten der Tabellen 8 bis 10 sind außerdem in Abb. 3 graphisch dargestellt.

Die ^{54}Mn-Gehalte des Blutes waren allgemein sehr niedrig. Während der ganzen Versuchsperiode hielten sie sich auf ziemlich gleichmäßiger Höhe und zeigten erst gegen Schluß ein leichtes Absinken.

Die ^{54}Mn-Aktivität der Hoden, die meist von 2 am selben Tag geschlachteten Tieren stammten, stieg während der Versuchsperiode bis zum 22. Tag an und sank anschließend relativ rasch wieder ab.

Die vorhandenen ^{54}Mn-Werte der Federn zeigten in den ersten Tagen einen kräftigen Anstieg und fielen danach rasch ab. Am 15. Tag waren nur noch 7 % der Aktivität des 3. Tages vorhanden. Bei dieser Höhe blieben die Werte bis zum 30. Versuchstag, um bis zum Versuchsende auf 1,57 % der Aktivität des 3. Tages abzunehmen.

Tabelle 11 zeigt die Verteilung der ^{54}Mn-Aktivität auf die einzelnen Gewebe in % der ^{54}Mn-Gesamtgewebe-Aktivität.x) Die ^{54}Mn-Gesamtgewebe-Aktivität wurde aus den einzelnen ^{54}Mn-Aktivitäten der untersuchten Gewebe errechnet und als 100 % bezeichnet. Die ^{54}Mn-Gehalte von Blut, Hoden und Federn wurden dabei nicht berücksichtigt.

Insgesamt enthielten die am 1. Tag geschlachteten Hähne 6 % der verabreichten ^{54}Mn-Aktivität. Dieses Ergebnis bestätigt die am 1. Tag aufgrund der ^{54}Mn-Ausscheidung über den Kot errechnete Resorptionsquote für $^{54}Mn(NO_3)_2$ von 7 - 8 %. Trotz der teilweise erheblichen Schwankungen der ^{54}Mn-Gesamtgewebe-Aktivität der Hähne war das Verteilungsmuster des ^{54}Mn bei allen am selben Tag geschlachteten Tieren sehr ähnlich. Die Werte sanken vom Beginn bis zum Ende der Untersuchungen bei den "Organen" von ca. 45 % auf 9 % und bei Magen-Darmtrakt von 35 % auf 4 % ab. Die Anteile der Knochen und Muskulatur stiegen dagegen von 5 % auf 50 % bzw. von 10 % auf 36 %.

x) ^{54}Mn-Gesamtgewebe-Aktivität = Summe der ^{54}Mn-Aktivitäten von Magen-Darmtrakt, Haut, "Organen", Knochen und Muskulatur.

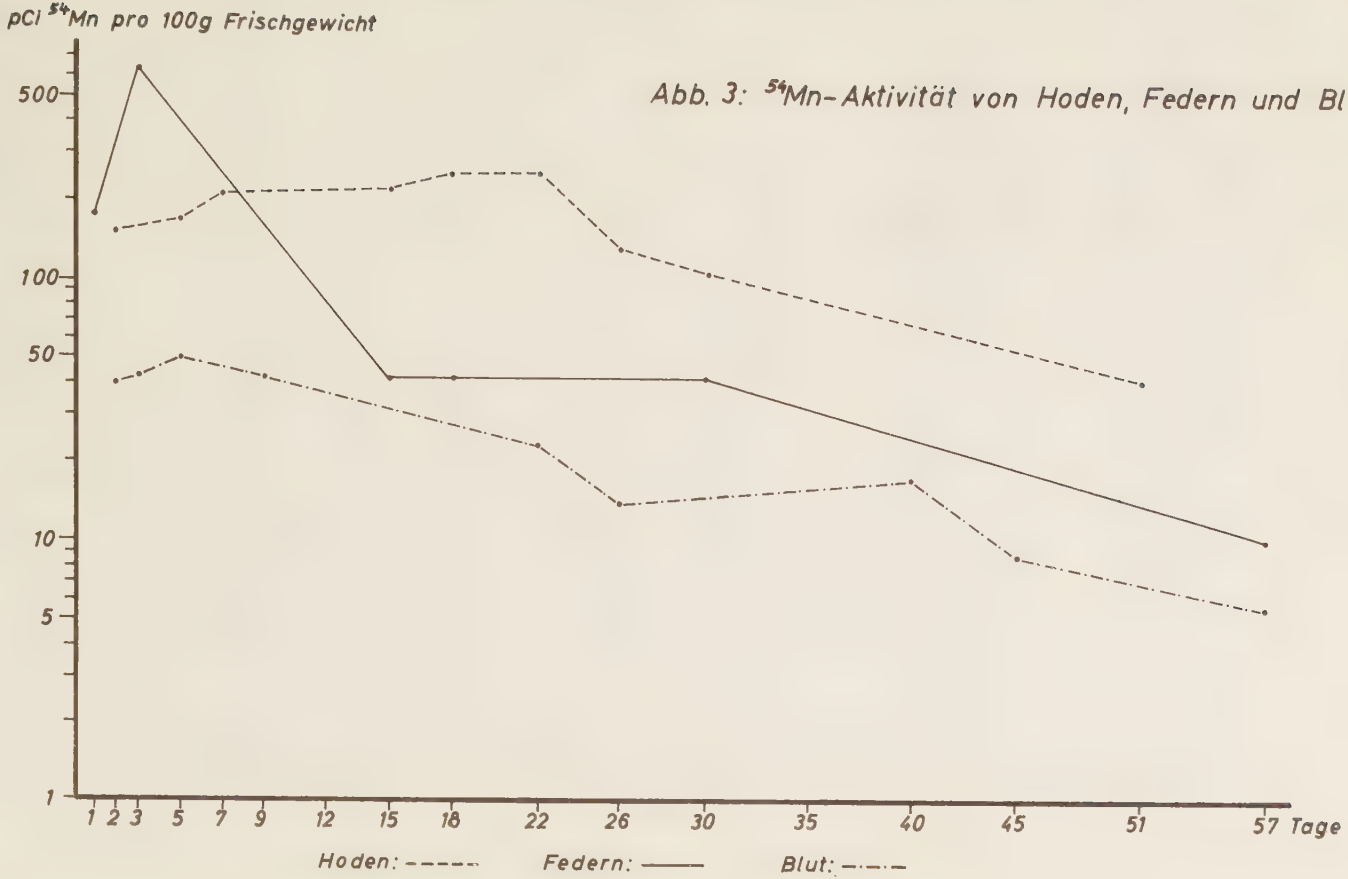


Abb. 3: ^{54}Mn-Aktivität von Hoden, Federn und Blut

In Abb. 4 sind die Werte der Tabelle 11 graphisch dargestellt. Die höchsten ^{54}Mn-Aktivitäten waren am Ende der Untersuchungen aufgrund der geringen Ausscheidungsgeschwindigkeit in Knochen und Muskulatur enthalten. Die anfänglich hohen ^{54}Mn-Gehalte im Magen-Darmtrakt waren zu Versuchsende so gering, daß sie nur noch eine minimale Gewebebelastung darstellten.

In Tabelle 12 wird die prozentuale Verteilung der ^{54}Mn-Aktivitäten auf die unter der Bezeichnung "Organe" zusammengefaßten Einzelorgane (Leber, Lunge, Herz, Nieren, Milz) angegeben. Zur Ermittlung dieser Werte wurden die Organe von jeweils zwei am selben Tag geschlachteten Tieren verwendet und daraus der Durchschnittswert errechnet.

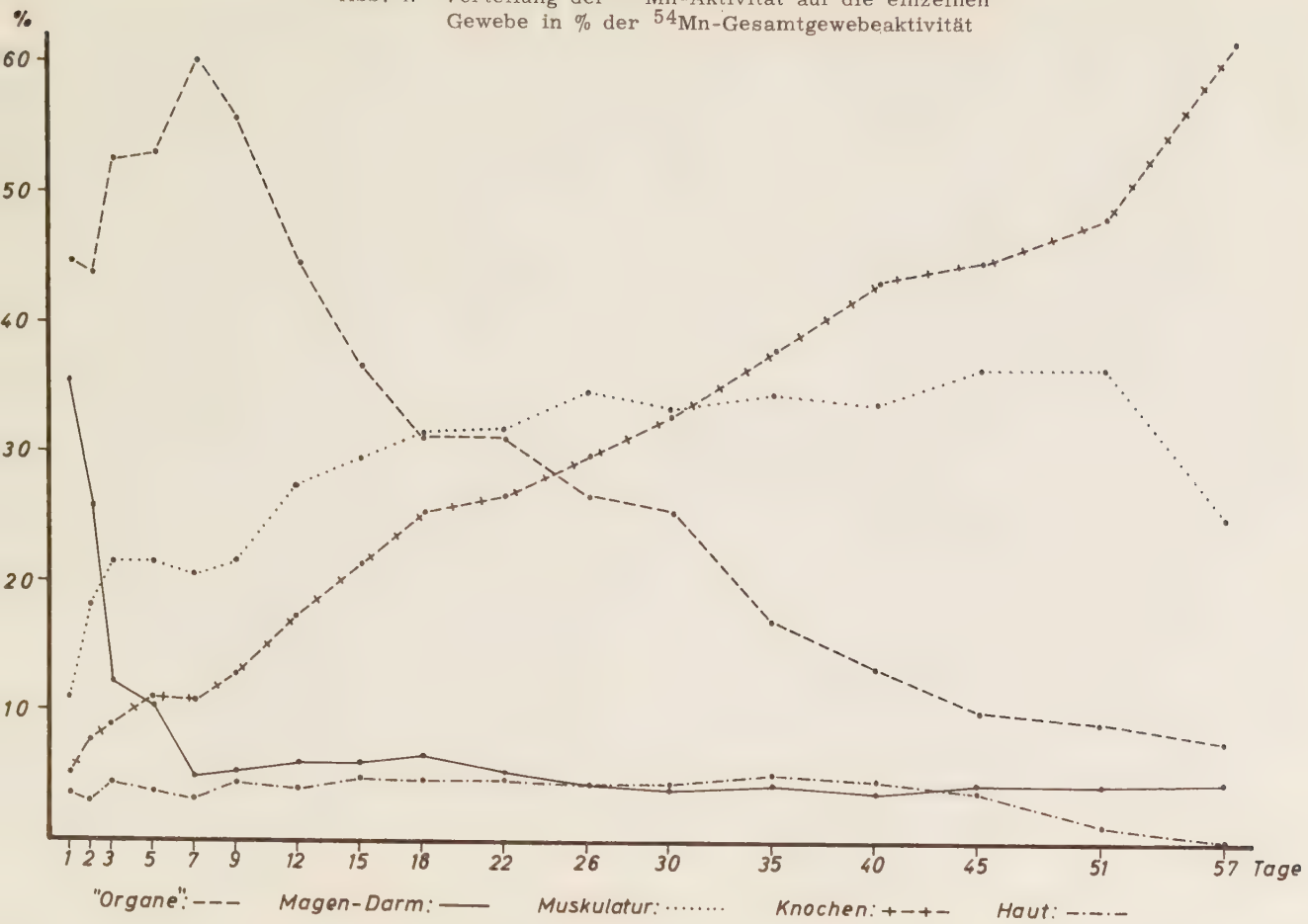
Tabelle 12

Prozentuale Verteilung der ^{54}Mn-Aktivitäten[+)] auf die unter der Bezeichnung "Organe" zusammengefaßten Einzelorgane.

Tier-Nr.	Untersuchungstag	Leber	Lunge	Herz	Nieren	Milz
202 240	5.	70, 7	17, 7	1, 4	9, 8	0, 4
201 222	22.	71, 6	5, 2	2, 3	20, 8	0, 0

[+)] absolute ^{54}Mn-Aktivität der "Organe" am Untersuchungstag = 100 %.

Abb. 4: Verteilung der ^{54}Mn-Aktivität auf die einzelnen Gewebe in % der ^{54}Mn-Gesamtgewebeaktivität



Mit etwa 70 % enthielt die Leber sowohl am 5. wie am 22. Untersuchungstag die höchsten ^{54}Mn-Konzentrationen aller Organe.

Darauf folgten am 5. Tag die Lunge mit 17,7 % sowie die Nieren mit 9,8 % und am 22. Tag die Nieren mit 20,8 % bzw. die Lungen mit nur noch 5,1 %. Die ^{54}Mn-Aktivitäten von Herz und Milz waren sowohl am 5. wie am 22. Tag weit unter den Werten von Leber, Lunge und Nieren.

Als Ergänzung zur Tabelle 7 sind in Tabelle 13 die Analysenwerte für die Wasser-, Eiweiß- und Fettgehalte der Muskulatur zusammengestellt. Die Wasser- und Eiweißwerte zeigten nur geringfügige Schwankungen. Die Fettgehalte variierten mit Werten von 1,17 % bis 5,71 % etwas stärker. Bei der Darstellung der ^{54}Mn-Gehalte der Muskulatur war eine Berücksichtigung dieser relativ wenig unterschiedlichen Werte jedoch nicht erforderlich. Nur beim Hahn Nr. 207 waren durch die Kachexie der Eiweißgehalt erhöht und der Fettgehalt erniedrigt.

D. DISKUSSION

Die Resorption von oral verabreichtem ^{54}Mn war bei Junghähnen sehr gering. Über 92 % der als $^{54}Mn(NO_3)_2$ applizierten ^{54}Mn-Aktivität wurden bereits einen Tag nach der Eingabe mit dem Kot wieder ausgeschieden. Daraus läßt sich eine Resorptionsquote von 7 - 8 % errechnen. Dieser Wert stimmt gut mit Befunden von MOHAMMED und GREENBERG (100) bei Küken und von HILL (64) bei 6 Monate alten Junghühnern überein. HENNIG und Mitarbeiter (62) stellten bei 5 Monate alten Broilern eine ähnlich geringe ^{54}Mn-Resorption fest, die von der Art der angebotenen Mn-Verbindung beeinflußt wurde. ^{54}Mn-Nitrat läßt sich mit einer Resorptionsquote von etwa 7 - 8 % recht gut zwischen die von HENNIG und Mitarbeiter (62) für Mn-Oxid (7, 3 %) und Mn-Sulfat (10, 1 %) ermittelten Werte einreihen.

Die Verteilung des ^{54}Mn im Körper der Hähne war stark von der Zeitspanne zwischen Verabreichung und Untersuchung abhängig. Kurz nach der Verabreichung wurden die höchsten ^{54}Mn-Konzentrationen in "Organen" und Magen-Darmtrakt, vergleichsweise sehr niedrige dagegen in Haut, Knochen und Muskulatur beobachtet. Die Verteilung des ^{54}Mn im Tierkörper änderte sich während der Versuchsperiode fortlaufend. So nahm der ^{54}Mn-Gehalt von "Organen" und Magen-Darmtrakt bereits in den ersten Tagen stark ab. Demgegenüber stiegen die prozentualen Anteile des ^{54}Mn-Gehaltes von Knochen und Muskulatur an der ^{54}Mn-Gesamtaktivität des Tierkörpers an. Gegen Ende des Versuches wurden daher die höchsten ^{54}Mn-Aktivitäten in Knochen und Muskulatur ermittelt.

Die Ergebnisse lassen erkennen, daß die "Organe" sehr rasch eine beträchtliche Menge ^{54}Mn aufnehmen und diese relativ schnell auch wieder eliminieren. Der Magen-Darmtrakt gibt die aufgenommene Aktivitätsmenge am raschesten von allen Geweben wieder ab. Ein geringer ^{54}Mn-Restgehalt ist jedoch bis zum Ende der Untersuchungen festzustellen. Dies spricht für eine gleichmäßige und permanente ^{54}Mn-Ausscheidung besonders in den letzten Versuchsabschnitten.

Im Vergleich zu "Organen" und Magen-Darmtrakt nehmen Knochen und Muskulatur anfangs nur wenig ^{54}Mn auf, scheiden dieses allerdings auch sehr langsam wieder aus. Ihr ^{54}Mn-Gehalt übertrifft daher gegen Versuchsende denjenigen von "Organen" und Magen-Darmtrakt wesentlich. Die Ursache dieser hohen ^{54}Mn-Endgehalte dürfte in der geringen Stoffwechselintensität beider Gewebe zu suchen sein. Die geringe Stoffwechselintensität der Knochen ist vermutlich physiologisch, die der Muskulatur wahrscheinlich durch die geringe Beanspruchung bei Käfighaltung bedingt.

Die Haut enthält während der gesamten Versuchsperiode einen niedrigen, aber recht konstanten Anteil der ^{54}Mn-Gesamtaktivität. Im Gegensatz zu den Beobachtungen von GREENBERG und CAMPBELL (52) zeigt sie zu keinem Zeitpunkt eine beachtliche ^{54}Mn-Konzentration.

Diese Befunde könnten zur Beurteilung der von früheren Autoren berichteten, teilweise stark unterschiedlichen, Mn-Verteilung klärend beitragen. Je nach dem Zeitpunkt der Untersuchung (nach einmaliger ^{54}Mn-Gabe) ist es möglich, eine ganz verschiedene Verteilung des ^{54}Mn im Organismus zu beobachten. Hierfür entscheidend sind letztlich die Aufnahme- und Ausscheidungsgeschwindigkeit sowie die Speicherungsfähigkeit eines Gewebes für ^{54}Mn.

Die hohe ^{54}Mn-Aktivität der "Organe" war zum überwiegenden Teil vermutlich in der Leber und der anhängenden Gallenblase enthalten. Jeweils ca. 70 % der ^{54}Mn-"Organ"-Aktivität konnten bei Untersuchungen an 4 Hähnen zu verschiedenen Zeitpunkten (5. und 22. Tag) in der Leber nachgewiesen werden. Bei einem Aktivitätsanteil der Organe von 53 % an der ^{54}Mn-Gesamtgewebeaktivität am 5. Tag post applicationem errechnet sich für die Leber ein Anteil von etwa 37 %. Dieser Wert liegt bedeutend höher als der von HILL (64) angegebene; er fand bei Hühnern einen Tag nach Verabreichung von ^{52}Mn etwa 14 % der Gesamtkörperaktivität in der Leber. Weniger stark differiert der Wert von HENNIG und Mitarbeitern (62), die bei Broilern maximal 21,2 % in der Leber ermitteln konnten. Im Unterschied zu den eigenen sind die Werte von HENNIG und HILL auf Gesamtkörperaktivität bezogen und die Untersuchungen nicht erst nach 5 Tagen sondern von HENNIG bereits 18 Stunden und von HILL 24 bzw. 48 Stunden nach der Applikation vorgenommen worden. FURCHNER und

Mitarbeiter (45) beobachteten in der Leber von Ratten innerhalb der ersten 4 Tage p. applicat. einen Anstieg der prozentualen ^{54}Mn-Aktivität von 24,83 auf 42,82 % (bezogen auf Gesamtkörperaktivität). Ein ähnliches Verhalten der ^{54}Mn-Leberaktivität ist aufgrund der Unterschiede zwischen den eigenen Werten und den Werten von HILL und HENNIG auch bei Hähnen zu vermuten.

Die hohen ^{54}Mn-Aktivitäten der Leber lassen sich nicht allein mit deren Funktion als Durchgangsorgan für aus dem Darm kommende Stoffe erklären. Die entscheidende Ursache dürfte vielmehr in der Bedeutung der Leber für Enzymstoffwechsel und Mn-Ausscheidung zu suchen sein. Nach Literaturangaben (53) soll Mn zum überwiegenden Teil mit der Galle ausgeschieden werden.

Die zweithöchste ^{54}Mn-Aktivität der "Organe" enthielten am 5. Tag p. applicat. mit ca. 17 % die Lungen. Am 22. Tag hingegen wiesen die Nieren mit ca. 20 % nach den Lebern die höchste ^{54}Mn-Aktivität auf. Die ^{54}Mn-Aktivität der Lungen am 5. Tag p. applicat. lag im Vergleich zu den Literaturangaben (GREENBERG und CAMPBELL (52)) sehr hoch. Dieses Verhalten kann unter den vorliegenden Versuchsbedingungen nicht erklärt werden. Für eine Klärung wären weitere Untersuchungen angezeigt, da nicht ausgeschlossen werden kann, daß es sich bei den Befunden um Zufallsergebnisse handelt. In den Nieren scheint es, wie von anderen Schwermetallen bekannt, auch bei Mn zu einer Anreicherung zu kommen, obwohl die renale Mn-Ausscheidung bei oraler Applikation zu vernachlässigen ist.

Die ^{54}Mn-Aktivität der "Organe" sank sehr rasch ab. Bereits zwischen dem 3. und 5. Tag waren nur noch etwa 50 % der Aktivität vom 1. Tag vorhanden. Diese Beobachtung läßt auf eine biologische Halbwertszeit des ^{54}Mn in den "Organen" von ca. 3 Tagen schließen. Die Tatsache, daß stets [illegible] % der ^{54}Mn-"Organ"-Aktivität in der Leber enthalten waren, läßt für die Leber eine ähnlich kurze HWZ des ^{54}Mn wie für die Gesamt-"Organe" vermuten. Auch nach dem 5. Tag erfolgte der Abfall der "Organ"aktivität ähnlich rasch wie zu Beginn.

In der Literatur sind Angaben über die biologische Halbwertszeit des ^{54}Mn in Organen von Hähnen nicht bekannt. Von den Organen des Menschen wird für die Leber eine HWZ von 23 Tagen (165) angegeben. Hierzu erscheint die HWZ des ^{54}Mn in den "Organen" der Hähne sehr kurz. Die Ursache für die schnelle Eliminierung von ^{54}Mn aus den "Organen" der Hähne dürfte u.a. in der hohen Stoffwechselintensität des Vogelorganismus zu suchen sein. Außerdem scheint der relativ hohe Mn-Gehalt des Hühnerfutters eine Diskriminierung des radioaktiven $^{54}Mangans$ durch das zugeführte stabile Mn zu bewirken.

Der Magen-Darmtrakt wies zu Versuchsbeginn eine ähnlich hohe ^{54}Mn-Konzentration wie die "Organe" auf, was mit seiner Funktion als Resorptionsorgan in Zusammenhang stehen dürfte. Bei ihm fiel die ^{54}Mn-Aktivität von allen Geweben am schnellsten ab.

Blut wurde erst ab dem 2. Tag post applicat. untersucht. Seine ^{54}Mn-Aktivität war stets sehr niedrig und zeigte während der Versuchsperiode eine ziemlich gleichmäßige Abnahme. Die Blutuntersuchungen während des Versuchszeitraums erlauben somit kaum Rückschlüsse auf den ^{54}Mn-Gehalt des Tierkörpers. Zur Beobachtung des ^{54}Mn-Verhaltens im Blut wären Untersuchungen unmittelbar nach der Verabreichung in sehr kurzen Zeitabständen durchzuführen. Mangan soll nämlich zum überwiegenden Teil bereits in den ersten Stunden p. applicat. aus dem Blut eliminiert werden (21, 95).

In den Federn konnte bereits am 1. Tag nach der Verabreichung eine beachtliche ^{54}Mn-Konzentration festgestellt werden, die bis zum 3. Tag weiter anstieg. Bis zum 15. Tag war sie schon stark abgefallen und ging dann bis zum Ende des Versuchs nur noch wenig zurück. Die hohe ^{54}Mn-Aktivität in den ersten Versuchstagen steht in guter Übereinstimmung mit Beobachtungen von HENNIG und Mitarbeitern (62). Sie konnten bereits 18 Stunden nach der Verabreichung von ^{54}Mn eine "nicht unerhebliche" Menge im Gefieder von Broilern nachweisen. Auch darf in den Federn ein ähnliches Verhalten des ^{54}Mn vermutet werden, wie es bei Haaren von Säugern beobachtet wurde. MEYER und ENGELBERTZ (97) sowie ANKE (4) fanden den Mn-Gehalt des Rinderhaares stets in guter Relation zur Mn-Versorgung mit dem Futter. Ob bei Dauerverabreichung von ^{54}Mn

zwischen dem ^{54}Mn-Gehalt der Federn und dem des Gesamtkörpers ähnliche Beziehungen bestehen, kann erst durch weitere Untersuchungen geklärt werden.

In den Hoden war bis zum 22. Tag nach der ^{54}Mn-Verabreichung ein steter Anstieg der Aktivität zu beobachten. Erst von diesem Zeitpunkt an setzte eine Abnahme ein. Der Anstieg ist möglicherweise darauf zurückzuführen, daß die Hoden der Hähne erst mit Eintritt der Geschlechtsreife im Laufe der Untersuchungen ihre volle Tätigkeit aufnahmen.

Im Kot waren am 1. Tag p. applicat. 92 % der verabreichten ^{54}Mn-Aktivität enthalten. Dieser Prozentsatz an unresorbiert mit dem Kot ausgeschiedenen Mangan ist, unabhängig von der Tierart, bei Säugern und Vögeln ziemlich konstant (45, 53, 63, 96). Am 2. Untersuchungstag konnten nur noch etwa 1 % des verabreichten ^{54}Mn im Kot nachgewiesen werden. Bis zum 11. Tag waren im Kot ca. 50 % der resorbierten ^{54}Mn-Aktivität ausgeschieden worden. Daraus ergibt sich eine biologische HWZ des ^{54}Mn für den Gesamtkörper der Hähne von 10 - 11 Tagen. Die Ausscheidung von ^{54}Mn im Kot konnte während etwa 27 Tagen verfolgt werden.

Die Hähne Nr. 207 und Nr. 232 wiesen eine grundsätzlich andere ^{54}Mn-Verteilung auf als alle übrigen Tiere. Bei beiden wurde der überwiegende Teil der Aktivität in den "Organen" gefunden. Die ^{54}Mn-Gesamtaktivität war bei Hahn Nr. 207 im Vergleich mit anderen zu einem ähnlichen Zeitpunkt geschlachteten Hähnen stark erniedrigt, bei Hahn Nr. 232 deutlich erhöht.

Bei Hahn Nr. 207 konnten schon aufgrund der hochgradigen Kachexie abweichende ^{54}Mn-Werte erwartet werden. Dagegen wies der Hahn Nr. 232 keine Störungen des Allgemeinbefindens und der geweblichen Beschaffenheit auf, die Abweichungen hätten vermuten lassen.

Bei beiden Tieren dürften Stoffwechselstörungen die Ursache der abweichenden ^{54}Mn-Werte sein. Trotz der bei beiden Hähnen ähnlichen Verteilung des ^{54}Mn ist aufgrund der in verschiedene Richtungen gehenden Abweichung der ^{54}Mn-Gesamtaktivität eine gleichartige Störung unwahr-

scheinlich. Bei Hahn Nr. 207 wurde die Störung des Mn-Stoffwechsels vermutlich durch das schlechte Allgemeinbefinden verursacht; bei Hahn Nr. 232 scheint dagegen eine spezifische Störung des Mn-Stoffwechsels vorgelegen zu haben.

Aufgrund der Versuchsergebnisse sind bei Hähnen nach einmaliger oraler Applikation von ^{54}Mn die höchsten ^{54}Mn-Aktivitäten zunächst in den "Organen" und ab 22. Tag in den Knochen zu erwarten. Für die Untersuchung von Schlachtgeflügel auf ^{54}Mn wären daher in den ersten 3 Wochen nach erfolgter Kontamination zweckmäßigerweise die "Organe" (speziell die Leber), zu einem späteren Zeitpunkt die Knochen zu entnehmen.

Ob aus dem Verteilungsmuster des ^{54}Mn auf den Zeitpunkt der Kontamination geschlossen werden kann, wäre in weiteren Untersuchungen zu klären.

Wie den vorliegenden Ergebnissen zu entnehmen ist, zeigen sowohl die ^{54}Mn-Aktivität der einzelnen Gewebsproben wie auch die ^{54}Mn-Gesamtaktivität bei am selben Tag geschlachteten Hähnen teilweise erhebliche Schwankungen. Zur statistischen Sicherung der gefundenen Werte bedarf es daher einer größeren Anzahl Tiere.

E. ZUSAMMENFASSUNG

1. Das Schrifttum über Vorkommen, Biozyklus und physiologisches Verhalten des Mangans und seines Isotops ^{54}Mn wurde referiert sowie mehrere Manganbestimmungsverfahren besprochen.

2. In eigenen Untersuchungen erhielten 29 Hähne einer weißen Leghorn-Hyline Rasse eine in Vorversuchen mit 5 Hähnen ermittelte ^{54}Mn-Aktivität oral verabreicht. Zur Bestimmung von Aufnahme, Verteilung und Ausscheidung des ^{54}Mn im Tierkörper wurden während einer Versuchsperiode von 57 Tagen täglich Kot sowie zu 17 verschiedenen Zeitpunkten Magen-Darmtrakt, Haut, "Organe", Knochen und Muskulatur auf ihren ^{54}Mn-Gehalt untersucht. Bei mehreren Tieren wurden außerdem noch in Blut, Hoden und Federn die ^{54}Mn-Konzentrationen bestimmt. In der Muskulatur wurde auch der Fett-, Wasser- und Rohproteingehalt ermittelt.

   Die Werte von 6 Kontrolltieren dienten als Vergleichsbasis.

3. Die ^{54}Mn-Resorptionsquote der Hähne war sehr gering. Am 1. Tag nach der Verabreichung konnten in den untersuchten Geweben insgesamt nur etwa 6 % der applizierten ^{54}Mn-Aktivität nachgewiesen werden. 92 % des verabreichten ^{54}Mn waren zu diesem Zeitpunkt im Kot bereits wieder ausgeschieden. Die ^{54}Mn-Resorptionsquote bei Hähnen entsprach der bei anderen Tierarten.

4. Die unterschiedlich schnelle ^{54}Mn-Ausscheidung der verschiedenen Gewebe verursachte eine ständige Änderung der ^{54}Mn-Verteilung im Tierkörper. In den ersten Tagen der Untersuchung waren die höchsten ^{54}Mn-Konzentrationen in Organen und Magen-Darmtrakt vorhanden. Zu Versuchsende hingegen wiesen Knochen und Muskulatur die höchsten ^{54}Mn-Gehalte auf.

5. Bei Federn war in den ersten Tagen und bei Hoden in der ersten Hälfte der Versuchsperiode ein Anstieg des absoluten ^{54}Mn-Gehaltes zu beobachten.

6. Als biologische Halbwertszeit des ^{54}Mangans wurden für die Organe 3 Tage und für den Gesamtkörper 10 - 11 Tage ermittelt.

F. SUMMARY

1. The literaure about occurrence, biological cycle and physiological behaviour of manganese and its isotope ^{54}Mn was summed up and some methods were discussed to determine the manganese quantities.

2. At my research 29 cocks of white Leghorn-Hyline breed got fed ^{54}Mn, its activity already being known by previous tests done with 5 cocks.

During a period of research of 57 days faeces were examined daily on absorption, distribution and elimination of ^{54}Mn, and at 17 different dates stomach and intestines, skin, organs and muscles as well. Besides determination of the concentration of Mn in blood, testicles and feathers of several animals was done.

The quantity of fat, water and raw protein of muscle was determined, too. 6 animals were used to check the values as controls.

3. The cocks had very low quotes of resorption of ^{54}Mn. In those tissues examined only about 6 % of applied ^{54}Mn activity were detectable. 24 hours after applicating ^{54}Mn 92 % of the whole dose was already excreted with faeces. The quantity of the resorption quote was adequate to that of other animal breeds.

4. The dispersion of ^{54}Mn in the body of animal differed with the different excretion speed of different tissues during the period of research.

Starting those tests the largest concentration of ^{54}Mn existed in organs, stomach and intestines. But at the end of the testperiod bones and muscles contained most of ^{54}Mn.

5. An increase of absolute Mn quantity was observed for the feathers during the first days of research, for the testicles during the first half of the test period.

6. The biological half-life of ^{54}manganese amounted to about 3 days for the organs and to about 10 - 11 days for the whole body.

G. LITERATURVERZEICHNIS

1. Abegg-Auerbach: Handbuch der anorganischen Chemie, S. Hirzel Verlag, Leipzig 1913, S. 611 ff;

2. Amdur, B.H., H. Rilling, and K. Bloch: The enzymatic conversion of mevalonic acid. J. Am. Chem. Soc. 79 (1957), 2646;

3. Amdur, M.O., L.C. Norris, and G.F. Heuser: The need for manganese in bone development by the rat. Proc. Soc. Exptl. Biol. 59 (1945), 254;

4. Anke, M.: Der Mengen- und Spurenelementhaushalt des Rinderhaares als Indikator der Calcium-, Eisen-, Zink-, Mangan-, Kupfer-, Molybdän- und Kobaltversorgung. Arch. f. Tierernähr. 16 (1966), 199;

5. Anke, M.: Jahrb. d. AGF 4 (1962/63), 257; zit. nach Hennig und Anke (61);

6. Bargero, A.: Il manganese introdotto per via endovenosa e gastrica. Boll. delle scienze med. di Bologna, Bd. 76, H. 11, Ref. in: Biochem. Centralblatt 5 (1906/07), 504;

7. Barnes, L.L., G. Sperling, and L.A. Maynard: Bone development in the albino rat on a low manganese diet. Proc. Soc. Exptl. Biol. Med. 46 (1941), 562;

8. Basu, K. P., and M. C. Malakar:
Iron and manganese requirements of the human adult.
J. Indian Chem. Soc. 17 (1940), 317;

9. Benedetti, L.:
Ricerche chimiche e farmacologiche sul manganese.
Boll. delle scienze med. di Bologna, Bd. 76, H. 11;
Ref. in: Biochem. Centralblatt 5 (1906/07), 504;

10. Bentley, O. G., and P. H. Phillips:
The effect of low-manganese rations upon dairy cattle.
J. Dairy Sci. 34 (1951), 396;

11. Bentley, O. G., and P. H. Phillips:
The effect of a manganese deficiency in the chick on the uptake of inorganic phosphate by liver homogenates in vitro.
Arch. Biochem. Biophys. 32 (1951), 338;

12. Berg, G. und F. Friedensburg:
Mangan
Die metallischen Rohstoffe 5 (1942), 1 - 232;

13. Berg, R.:
Die Spurenelemente in unserer Nahrung und in unserem Körper.
"Die Ernährung" Beiheft 7 (1940), S. 11;

14. Bernard, R., et J. M. Demers:
Le manganèse dans la nutrition du caneton.
Rev. Can. Biol. 11 (1953), 147;

15. Bertrand, G.: Sur l'importance physiologique du manganèse et d'autres éléments contenus dans les organismes à l'état de traces. Ergebn. Vit.- u. Hormon-Forsch. 2 (1939), 192;

16. Bertrand, G., et F. Medigreceanu: Recherches sur le manganèse normal du sang. Ann. Inst. Pasteur 26 (1912), 1013;

17. Bertrand, G., et F. Medigreceanu: Recherches sur la présence et la repartition du manganèse dans les organes des animaux. Ann. Inst. Pasteur 27 (1913), 1;

18. Bertrand, G., und M. Rosenblatt: Der unterschiedliche Mn-Gehalt in grünen und etiolierten Blättern. Bul. Soc. Sci. Hyg. Aliment. 20 (1932), Nr. 5 - 6, 228 zit. nach Papendick (106);

19. Binkley, F.: On the nature of serine dehydrase and cysteine desulfrase. J. Biol. Chem. 150 (1943), 261;

20. Bolin, D. W.: The Manganese Contents of Grasses and Alfalfa from Grazed Plots. J. Agr. Research 48 (1934), 657;

21. Born, H. J., H. A. Timofeeff-Ressowsky und P. M. Wolf: Versuche über die Verteilung des Mangans im tierischen Organismus mit ^{56}Mn als Indikator. Naturwiss. 31 (1943), 246;

22. Bowen, H. J. M.: The determination of manganese in biological material by activation analysis with a note on the gamma spectrum of blood. J. Nuclear Energy 3 (1956), 18;

23. Boyer, P. D., J. H. Shaw, and P. H. Phillips: Studies on manganese deficiency in the rat. J. Biol. Chem. 143 (1942), 417;

24. Bronk, J. R., and W. W. Kielley: Ionic requirements for oxydative phosphorylation, ATP-^{32}P exchange and ATP-ase. Biochim. Biophys. Acta 24 (1957), 440;

25. Brückmann, G., and S. G. Zondek: Iron, copper and manganese in human organs at various ages. Biochem. J. 33 (1939), 1845;

26. Burnett, W. T., jr., R. R. Bigelow, A. W. Kimball, and C. W. Sheppard: Radiomanganese studies on the mouse, rat and pancreatic fistula dog. Am. J. Physiol. 168 (1952), 620;

27. Byerly, T. C., H. W. Titus, N. R. Ellis, and W. Landauer: A new nutritional disease of the chick embryo. Proc. Soc. Exptl. Biol. Med. 32 (1935), 1542;

28. Cantarow, A., and B. Schepartz: Biochemistry, W. B. Saunders Company Philadelphia - London, 1962, S. 660;

29. Comens, P.: Manganese depletion as an etiological factor in hydralazine disease. Am. J. Med. 20 (1956), 944;

30. Cotzias, G. C.: Manganese, in: Comar C. L., and F. Bronner: Mineral Metabolism, Vol. 2, Part B, S. 403, Academic Press New York and London 1962;

31. Cotzias, G. C.: Manganese in Health and Disease Phys. Rev. 38 (1958), 503;

32. Cotzias, G. C., B. Curtis, and J. J. Greenough: unveröffentlicht, zit. nach Cotzias (31)

33. Cotzias, G. C., and J. J. Greenough: The high specifity of the manganese pathway through the body. J. Clin. Invest. 37 (1958), 1298;

34. Cotzias, G. C., and L. S. Maynard: The study of certain phases of cell dynamic states with shortlived isotopes as exemplified by ^{56}Mn partition studies in organs, and intracellular organelles. Proc. Intern. Conf. on Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva 1955, 12, S. 444;

35. Curran, G. L.: Effect of certain transition group elements on hepatic synthesis of cholesterol in the rat. J. Biol. Chem. 210 (1954), 765;

36. Curran, G. L.: Metal chelating agents and hepatic cholesterol synthesis. Proc. Soc. Exptl. Biol. Med. 88 (1955), 101;

37. Daniels, A. L., and G. J. Everson: The relation of manganese to congenital debility. J. Nutr. 9 (1935), 191;

38. Dörner, E.: Grundlagen der Nuklearmedizin, Georg Thieme Verlag, Stuttgart (1966), S. 172;

39. Edlbacher, S., und H. Baur: Zur Kenntnis der Natur der Hefe- und Leber-Arginase. Naturw. 26 (1938), 268;

40. Ellis, G. H., S. E. Smith, and E. M. Gates: Further studies of manganese deficiency in the rabbit. J. Nutr. 34 (1947), 21;

41. Emmel, M. W.: Perosis in swans and chickens fed manganese-fortified mashes. J. Am. Vet. Med. Assoc. 104 (1944), 30;

42. Evans, R. J., E. J. Robertson, M. Rhian, and L. A. Wilhelm: The development of perosis in turkey poults and its prevention. Poultry Sci. 21 (1942), 422;

43. Everson, G. J., and A. L. Daniels: A study of manganese retention in children. J. Nutr. 8 (1934), 497;

44. Fore, H., and R. A. Morton: Manganese in Rabbit Tissues. Biochem. J. 51 (1952), 600;

45. Furchner, J.E., C.R. Richmond, and G.A. Drake: Comparative Metabolism of Radionuclides in Mammals - III. Retention of Manganese-54 in the mouse, rat, monkey and dog. Health Phys. 12 (1966), 1415;

46. Gallup, W.D., and L.C. Norris: The amount of manganese required to prevent perosis in the chick. Poultry Sci. 18 (1939), 76;

47. Gallup, W.D., and L, C. Norris: The effect of a deficiency of manganese in the diet of hen. Poultry Sci. 18 (1939), 83;

48. Gamelin, Brother H.: Manganese and iron in the Pinales of the province of Quebec. Contrib. lab. école hautes études com. Montreal No 8. 182 pp, zit. nach Wangersky (150);

49. Gerber, J.N.: Mangaan-en Magnesiumvereistes van battery-lêhenne. South African J. agric. Sci. 6 (1963), 381;

50. Goldschmidt, V.M.: Geochemistry; At the Clarendon Press, Oxford (1954), S. 621;

51. Grashuis, J.: De betekenis van mangaan voor mens en dier. Landbouwk. Tydschr. 69 (1957), 642;

52. Greenberg, D.M., and W.W. Campbell: Studies in mineral metabolism with the aid of induced radioactive isotopes. IV. Manganese. Proc. Nat. Acad. Sci. U.S. 26 (1940), 448;

53. Greenberg, D. M., D. H. Copp, and E. M. Cuthbertson: Studies in mineral metabolism with the aid of induced radioactive isotopes. VII. The distribution and excretion, particularly by way of the bile, of iron, cobalt and manganese. J. Biol. Chem. 147 (1943), 749;

54. Grummer, R. H., O. G. Bentley, P. H. Phillips, and G. Bohstedt: The role of manganese in growth, reproduction and lactation of swine. J. Animal Sci. 9 (1950), 170;

55. Guseva, Z. L.: Determination of trace amounts of manganese in plant material. Sb. Statei Vses. Zaochn. Politekhu. Inst. No 32 (1964), 113 (russ.) Ref. in: Chem. Abstr. 63 (1965), 2100 g;

56. Hanson, H. T., and E. L. Smith: Carnosinase: an enzyme of swine kidney. J. Biol. Chem. 179 (1949), 789;

57. Hawkins, G. E., jr., G. H. Wise, G. Matrone, R. K. Waugh, and W. L. Wott: Manganese in the nutrition of young dairy cattle fed different levels of calcium and phosphorus. J. Dairy Sci. 38 (1955), 536;

58. Hein, F., und D. Arvay: Versuche zur fällungsanalytischen Abscheidung bzw. Bestimmung des Mangans als Triwismutoxypermanganat $Bi_3O_5H_2MnO_4$, Angew. Chemie, A60 (1948), 157;

59. Heller, V. G., and R. Penquite: Minerals in rations of battery brooder chicks. Poultry Sci. 21 (1942), 247;

60. Hennig, A.: Abstracts Fifth Inst. Cong. Nutr. Sept. 1. - 7. 1960, Washington, D.C. 41, zit. nach Hennig und Anke (61);

61. Hennig, A., und M Anke: Der Mineralstoffwechsel, 2. Mangan, in: Hock, Andreas: Vergleichende Ernährungslehre des Menschen und seiner Haustiere. VEB Gustav Fischer Verlag Jena 1966, S. 511;

62. Hennig, A., M. Anke, H. Jeroch, H. Kaltwasser, W. Wiedner, G. Hoffmann, M. Diettrich und H. Marcy: Untersuchungen über die Verwertung des Mangans aus verschiedenen Verbindungen und seine Verteilung im Körper des Huhns. Arch. Tierernährung 16 (1966), 545;

63. Hennig, A., M. Anke und S. Künzel: Jahrb. d. AGF 4 (1961/62), 50, zit. nach Hennig und Anke (61);

64. Hill, R.: The retention of an oral dose of radioactive manganese in the pullet and the effects on retention of the intake of inactive manganese. Brit. J. Nutr. 19 (1965), 171;

65. Hill, R.M., and D.E. Holtkamp: Storage of dietary manganese and thiamine in the rat. J. Nutr. 53 (1954), 73;

66. Hill, R. M., D. E. Holtkamp, A. R. Buchanan, and E. K. Rutledge: Manganese deficiency in rats with relation to ataxia and loss of equilibrium. J. Nutr. 41 (1950), 359;

67. Hogan, A. G., L. R. Richardson, H. Patrick, and H. L. Kempster: Perosis due to a vitamin deficiency J. Nutr. 21 (1941), 327;

68. Holleman - Wiberg: Lehrbuch der anorg. Chemie, Walter de Gruyter & Co., Berlin 1964, S. 535;

69. Holtkamp, D. E., and R. M. Hill: The effect on growth of the level of Mn in the diet of rats, with some observations on the manganese-thiamine relationship. J. Nutr. 41 (1950), 307;

70. Hurley, L. S., and G. J. Everson: Delayed development of righting reflexes of offspring of manganese-deficient rats. Proc. Soc. Exptl. Biol. Med. 102 (1959), 360;

71. Hurley, L. S., G. J. Everson, and J. E. Geiger: Manganese deficiency in rats: Congenital nature of ataxia. J. Nutr. 66 (1958), 309;

72. Jennings, D. H., D. C. Hooper, and A. Rothstein: The participation of phosphate in the formation of a "carrier" for the transport of Mg^{++} and Mn^{++} ions into yeast cells. J. Gen. Physiol. 41 (1958), 1019;

73. Insko, W. M., jr., Marcolm Lyons, and J. Holmes Martin: The effect of manganese, zinc, aluminium and iron salts on the incidence of perosis in chicks. Poultry Sci. 17 (1938), 264;

74. Johnson, S.R.: Studies with swine on rations extremely low in manganese. J. Animal Sci. 2 (1943), 14;

75. Jones, J.S., and D.E. Bullis: Manganese in commonly grown legumes. J. Indust. and Engin. Chem. 13 (1921) N° 6, 524;

76. Kehoe, R.A., J. Cholak, and R.V. Storey: A spectrochemical study of the normal ranges of concentration of certain trace metals in biological materials. J. Nutr. 19 (1940), 579;

77. Keith, T.B., R.C. Miller, W.T.S. Thorp, and M.A. McCarthy: Nutritional deficiencies of a concentrate mixture composed of corn, tankage, soybean oil and alfalfa meal for growing pigs. J. Animal Sci. 1 (1942), 120;

78. Kemmerer, A.R., C.A. Elvehjem, and E.B. Hart: Studies on the relation of manganese to the nutrition of the mouse. J. Biol. Chem. 92 (1931), 623;

79. Kent, N.L., and R.A. McCane: The absorption and excretion of minor elements by man - cobalt, nickel, tin and manganese. Biochem. J. 35 (1941), 877;

80. Kirchgessner, M., und H. Friesecke: Wirkstoffe in der praktischen Tierernährung, Bayerischer Landwirtschaftsverlag, München-Basel-Wien, 1966, S. 34;

81. Kistner, G.: Über das Auftreten von Aktivierungsprodukten aus Kernexplosionen in Lebensmitteln (Mangan-54) Atompraxis 12 (1966), 59;

82. Klein, G., und W. Ziese: Mangansalze als Arginaseaktivatoren. Klin. Wochenschr. 14 (1935), 205;

83. Kodama, K.: Methods of quantitative inorganic analysis, Chapt. 37, Interscience Publisher, Wiley New York-London 1963, S. 284;

84. Kolb, E., und D. Schimmel: Zur Kenntnis des Eisen- und Mangangehaltes im Blut und Serum von Rindern, Schweinen u. Gänsen. Naturwissenschaften 49 (1962), 397;

85. Krieg, R.: Der Gehalt an Eisen, Kupfer, Mangan und Zink in den Eiern von im Auslauf, im Legekäfig und im Intensivstall gehaltenen Weißen Leghornhennen. Arch. Geflügelkunde 27 (1963), 93;

86. Laatsch, W.: Die Umformung des Mangans im Boden in Abhängigkeit von der Witterung. in: Semaine d' étude sur le problème des oligoéléments dans la vie végétable et animale. Pont. Acad. Scient. Scripta varia 14 (1956), 71;

87. Lang, K.: Biochemie der Ernährung, Verlag Dr. Dietrich Steinkopff, Darmstadt, 1957, S. 165;

88. Leibholz, J. M., V. C. Speer, and V. W. Hays: Effect of dietary manganese on baby pig performance and tissue manganese levels. J. Animal Sci. 21 (1962), 772;

89. Lindberg, O., and L. Ernster: Manganese, a co-factor of oxydative phosphorylation. Nature 173 (1954), 1038;

90. Lux, H. persönl. Mitteilung;

91. Lyons M., and W. M. Insko, jr.: Chondrodystrophy in the chick embryo produced by manganese deficiency in the diet of the hen. Kentucky Agr. Expt. Sta. Bull. No. 371 (1937), S. 61;

92. McCarthy, M.: Purification and properties of desoxyribonuclease isolated from beef pancreas. J. Gen. Physiol. 29 (1946), 123;

93. Malmström, B. G., T. Vämsgard, and M. Larrson: An electron-spin-resonance study of the interaction of manganous ions with enolase and its substrate. Biochim. Biophys. Acta 30 (1958), 1;

94. Manescu, S., J. Negoescu, A. Lupulescu, and M. Diaconescu: Goiter - inducing action of manganese. Igiena 9 (1960), 305; Ref. in: Chem. Abstr. 55, 3 (1961), 11612 g;

95. Maynard, L. S., and G. C. Cotzias: The partition of manganese among organs and intracellular organelles of the rat. J. Biol. Chem. 214 (1955), 489;

96. Maynard, L. S., and S. Fink: The influence of chelation on radiomanganese excretion in man and mouse. J. Clin. Invest. 35 (1956), 831;

97. Meyer, H., und Th. Engelbertz: Über den Mangangehalt von Haaren schwarzbunter Niederungsrinder und seine Beziehungen zur Fruchtbarkeit. Dt. Tierärztl. Wschr. 67 (1960), 124;

98. Miller, R. C., T. C. Keith, M. A. McCarthy, and W. T. S. Thorp: Manganese as a possible factor influencing the occurrence of lameness in pigs. Proc. Soc. Exptl. Biol. Med. 45 (1940), 50;

99. Mitchell, R. L.: Trace elements, ed. by F. F. Bear Reinhold Publishing Co., New York 1955;

100. Mohammed, M. S., and D. M. Greenberg: A tracer study with ^{56}Mn on chicks with perosis produced by a synthetic manganese deficient diet. Proc. Soc. Exptl. Biol. Med. 54 (1943), 197;

101. Mohammed, M. S., and D. M. Greenberg: Liver arginase. I. Preparation of extracts of high potency, chemical properties, activation-inhibition, and pH-activity. Arch. Biochem. 8 (1945), 349;

102. National Research Council of U.S.A.: The National Council's Recommended Nutrient Requirements for Chickens. in: Titus, H.W.: Scientific Feeding of Chickens, The Interstate, Danville, Illinois 1955, S. 206;

103. Oettingen, W.F. von: Manganese: Its distribution, pharmacology and health hazards. Physiol. Revs. 15 (1935), 175;

104. Orent, E.R., and E.V. McCollum: Effects of deprivation of manganese in the rats. J. Biol. Chem. 92 (1931), 651;

105. Owen, E.C.: Biochemical function of some of the minor elements. Proc. Nutr. Soc. 19 (1960), 154;

106. Papendick, K.: Spurenelemente und Mangelkrankheiten, Beihefte zum Archiv für Tierernährung, Heft Nr. 6 (1955), S. 48;

107. Plumlee, M.P., D.M. Thrasher, W.M. Beeson, F.N. Andrews, and H.E. Parker: The effects of a manganese deficiency upon the growth, development, and reproduction of swine. J. Animal Sci. 15 (1956), 352;

108. Rademacher, B.: Mangan und Manganmangel in Böden und Pflanzen. Die Phosphorsäure, Sonderheft Mangan Bd. 12 (1952), 176;

109: Rankama, K., and Th. G. Sahama: Geochemistry, The University of Chicago Press (1952);

110. Reddy, K. K., K. V. Giril, and R. Das: Thiaminase system in fresh water mussel (Lamelledens marginalis). Enzymologia 12 (1948), 238;

111. Remy, H.: Lehrbuch der anorganischen Chemie, Akademische Verlagsgesellschaft, Geest und Portig, Leipzig 1961, S. 250;

112. Reiman, C. K., and A. S. Minot: A method for manganese quantitation in biological material together with data on the human blood and tissues. J. Biol. Chem. 42 (1920), 329;

113. Richards, B. M.: Manganese in relation to nutrition. Biochem. J. 24 (1930), 1572;

114. Römpp, H.: Chemie-Lexikon, Band III, Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart 1966, S. 3862;

115. Römpp, H.: Spurenelemente, Kosmos-Bändchen, Stuttgart 1954, S. 42;

116. Roth, H.: Über Manganmangelkrankheiten bei Pflanze und Tier. Biochem. Z. 333 (1960), 361;

117. Rothstein, A., A. Hayes, D. H. Jennings, and D. C. Hooper: The active transport of Mg^{++} and Mn^{++} into the yeast cell. J. Gen. Physiol. 41 (1958), 585;

118. Rubenstein, A. H., N. W. Levin, and G. A. Elliott: Manganese-induced Hypoglycaemia. The Lancet, 2, 2 (1962), Nr. 7270, S. 1348;

119. Saltman, P., R. D. Fiskin, S. B. Bellinger, and T. Alex: The metabolism of iron by rat liver slices. The effect of chemical agents. J. Biol. Chem. 220 (1956), 751

120. Sarachek, A.: The induction by Mn^{++} of heritable respiratory deficiency in non-dividing populations of Saccharomyces. Biochim. Biophys. Acta 33 (1959), 227;

121. Saussure, De: Recherches chimiques sur la végétation. Paris 1804, zit. nach Scharrer (124);

122. Sax, N. J., and J. J. Gabay: Occurrence of ^{54}Mn in Human and Bovine Livers. Health Physics 11 (1965), 585;

123. Schachtschabel, P.: Vortr. anl. d. Jhrs.-Vers. d. LUFA in Lindau/Bodensee am 25. 9. 1953, zit. nach Papendick (106);

124. Scharrer, K.: Biochemie der Spurenelemente, 3. Auflage Parey Verlag, Berlin, 1955, S. 154;

125. Scheele, C. W.: Opuscula chemica et physica, Bd. I, S. 258, Leipzig 1788, zit. nach Scharrer (124);

126. Schroeder, H. A., H. M. Perry, jr., E. G. Dennis, and L. E. Mahoney: Pressor substances in arterial hypertension. J. Exptl. Med. 102 (1955), 319;

127. Schröder, J.: Chemische Zusammensetzung der Pflanze. A. Anorganische Bestandteile, Forstchem. und Pflanzenphysiol. Untersuch., Dresden 1878, zit. nach Scharrer (124);

128. Schweigart, H. A.: Vitalstofflehre - Vitalstoff-Tabellarium, Verlag Hans Zauner jr., Dachau - München, 1962;

129. Seibold, M.: Spurenelemente in der menschlichen Ernährung. Münch. Med. Wschr. 102 (1960), 261;

130. Shils, M. E., and E. V. McCollum: Further studies on the symptoms of manganese deficiency in the rat and mouse. J. Nutr. 26 (1943), 1;

131. Shipman, W. H., P. Simone, and H. V. Weiss: Detection of Manganese-54 in Radioactive Fallout. Science 126 (1957), 971;

132. Smith, E. L.: The peptidases of skeletal, heart and uterine muscle. J. Biol. Chem. 173 (1948), 553;

133. Smith, E. L.: Studies on dipeptidases. II. Some properties of the glycyl-l-Leucin dipeptidases of animal tissues. J. Biol. Chem. 176 (1948), 9;

134. Smith, E. L.: Studies on dipeptidases. III. Hydrolysis of methylated peptides; the role of cobalt in the action of glycylglycine dipeptidase. J. Biol. Chem. 176 (1948), 21;

135. Smith, E. L., and M. Bergmann: The peptidases of intestinal mucosa. J. Biol. Chem. 153 (1944);

136. Smith, S. E., and G. H. Ellis: Studies of the manganese requirement of rabbit. J. Nutr. 34 (1947), 33;

137. Smith, S. E., M. Medlicott, and G. H. Ellis: Manganese deficiency in the rabbit. Arch. Biochem. Biophys. 4 (1944), 281;

138. Steiner, M. P.: Manganese in Plants. Mendel Bull. 15 (1943), 42;

139. Steinmann, I. D., V. N. Lyer, and W. Szybalski: The mechanism of chemical mutagenesis. II. Interactions of selected compounds with manganous chloride. Arch. Biochem. Biophys. 76 (1958), 78;

140. Thacker, E. J., M. L. Alderman, and R. W. Bratton: The Effect of Plane of Nutrition on the Mineral Composition of Blood Serum, Liver, and on the Growth of Bone. J. Animal Sci. 15 (1956), 447;

141. Thiers, R. E., and B. L. Vallee: Distribution of Metals in subcellular Fractions of Rat-Liver, J. Biol. Chem. 226 (1957), 911;

142. Turekian, K. K., and K. H. Wedepohl: Distribution of the Elements in Major Units of the Earth's Crust. Bull. Geol. Soc. Am. 72, 2 (1961), 175;

143. Underwood, E. J.: Trace Elements in Human and Animal Nutrition, Academic Press, New York - London, 1962, S. 187;

144. Vauquelin: Ann. de Chim. t. LVIII, p. 41. 1806, zit. nach Bertrand et Medigreceanu (17);

145. Verzhikovskaya, A., and I. I. Schveiko: Vrachebnoe Delo 1958, 1207, Ref. in: Chem. Abstr. 53, 3 (1959), 8449 b;

146. Vogel, A. J.: A textbook of quantitative inorganic analysis including elementary instrumental analysis, 3rd Ed., Longmans, Green & Co., London 1961, S. 536;

147. Wachtel, L. W., C. A. Elvehjem, and E. B. Hart: Studies on the physiology of manganese in the rat. Am. J. Physiol. 140 (1943), 72;

148. Wacker, W. E. C., and B. L. Vallee: Nucleic acids and metals: I. Chromium, manganese, nickel, iron, and other metals in ribonucleic acid from diverse biological sources. J. Biol. Chem. 234 (1959), 3257;

149. Waddell, J., H. Steenbock, and E. B. Hart: Growth and reproduction on milk diets. J. Nutr. 4 (1931), 53;

150. Wangersky, P. J.: Manganese in ecology, in: Schultz, V. and A. W. Klement, Jr.: Radioecology, Reinhold Publishing Corporation, New York 1963, S. 499;

151. Way, K., N. B. Gove, C. L. McGinnis, and R. Nakasima: Energy levels of nuclei A = 21 to A = 212, in: Landolt-Börnstein: Zahlenwerte und Funktionen aus Naturwissenschaft und Technik, Neue Serie, Gruppe I: Kernphysik und Kerntechnik, Band 1: Energie Niveaus der Kerne, Hrsg: Hellwege, K. H., Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 1961;

152. Wedepohl, K. H.: Spurenanalytische Untersuchungen an Tiefseetonen aus dem Atlantik. Geochim. Cosmochim. Acta 18 (1960), 200;

153. Welander, A. D.: Radiobiological studies of the fish collected at Rongelap and Ailingenae Atolls. Univ. of Washington, U. S. AEC report UWFL - 55 (1957), 30;

154. Welcher, F. J.: Organic Analytical Reagents, Van Nostrand, New York 1947/48, II, 201; III, 27;

155. Whitney, I. B.: HASL manual of standard procedures II, E-25-01, 1964;

156. Wiese, A.C., and B.C. Johnson: A new method for the microdetermination of manganese in biological materials. J. Biol. Chem. 127 (1939), 203;

157. Wilgus, H.S., jr., and A.R. Patton: Factors affecting manganese utilization in the chicken. J. Nutr. 18 (1939), 35;

158. Wilgus, H.S., jr., L.C. Norris, and G.F. Heuser: The role of certain inorganic elements in the cause and prevention of perosis. Science 84 (1936), 252;

159. Wilgus, H.S., jr., L.C. Norris, and G.F. Heuser: The role of manganese and certain other trace elements in the prevention of perosis. J. Nutr. 14 (1937), 155;

160. Winogradow, A.P.: Geochemie seltener und nur in Spuren vorhandener chemischer Elemente im Boden, Akademieverlag, Berlin 1954;

161. Wolff, H.: Spektrochemische Untersuchungen über den Mangangehalt des Blutes. Biochem. Z. 318 (1949), 521;

162. Wolff, H.P.: Mangan, in: Schwiegk, H.: Künstliche radioaktive Isotope in Physiologie, Diagnostik und Therapie, Springer Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 1953, S. 542;

163. Zetterström, R., and L. Ernster: Bilirubin, an uncoupler of oxidative phosphorylation in isolated mitochondria. Nature 178 (1956), 1335;

164. N. N.: Documenta Geigy, Wissenschaftliche Tabellen, 6. Auflage, J. R. Geigy A. G., Redaktion: Konrad Diem, Basel 1960;

165. N. N.: Report of committee two on permissible dose for internal radiation. Health Physics 3 (1960), 1.

Am Ende dieser Arbeit erlaube ich mir, Herrn Prof. Dr. L. Kotter für die freundliche Überlassung des Themas zu danken.

Mein besonderer Dank gilt ebenso den Herren Dr. W. Kreuzer und Dr. K. Schröder für ihre zahlreichen Hinweise und ihr immer freundliches Entgegenkommen.

LEBENSLAUF

Am 17. September 1941 wurde ich als Sohn des prakt. Kastrierers Otto Schmidt und seiner Ehefrau Elisabethe, geb. Karle, in Heilbronn-Böckingen geboren. Nach dem Besuch der Volksschule und des Robert-Mayer-Gymnasiums in Heilbronn legte ich im März 1960 die Reifeprüfung ab.

Im Sommersemester 1960 begann ich das Studium der Medizin an der Universität München. Nach einem Semester wechselte ich zur Tiermedizin über und bestand im Frühjahr 1965 die tierärztliche Prüfung.

Meine Praktikantenzeit leistete ich 2 Monate am Institut für Nahrungsmittelkunde der Tierärztlichen Fakultät der Universität München und 4 Monate bei Herrn Dr. Walter Haberkern, städt. Veterinärrat in Neckarsulm, Kreis Heilbronn, ab. Bei Herrn Dr. Haberkern war ich anschließend bis Frühjahr 1966 als Assistent beschäftigt.

Seit Oktober 1966 bin ich am Institut für Nahrungsmittelkunde als wiss. Mitarbeiter tätig.

ANHANG

TABELLE 1

Körpergewicht der Versuchstiere in g bei Versuchsbeginn und am Untersuchungstag, sowie die pro Hahn verabreichte Dosis ^{54}Mn.

Tier Nr.	Gewicht bei Versuchsbeginn in g	verabreichte ^{54}Mn-Dosis in pCi (pro Tier)	Untersuchungstag	Gewicht am Untersuchungstag in g
219	1820	188200	1.	1820
223	1520	157178		1520
206	1680	173723	2.	1680
217	1750	180962		1750
226	1620	167519	3.	1610
220	1860	192337		1790
240	1810	187166	5.	1880
202	1480	153042		1500
227	1800	186132	7.	1820
224	1800	186132		1700
236	1870	193371	9.	1560
208	1500	155110	12.	1610
237	1800	186132		1850
213	1740	179928	15	1850
218	1960	202677		2000
207	1680	173723	16.	980
212	1920	198541	18.	1720
244	1340	138565		1600
201	1340	138565	22.	1600
222	1670	172689		1720
203	1540	159146	26.	1685
232	1540	159246		1720
231	1880	194405	30.	2140
239	1640	169587		1720
228	1780	184064	35.	2020
233	1850	191303	40.	2150
210 Kottest-	1640 } 1672, 5	169587 } 174829	45.	1920
225 Hähne	1700	175792	51.	2180
221	1500	155110	57.	1550
Durchschnitt ohne Hahn 207	1690, 69			1773, 75
Kontrolltiere				
209	1900		2.	1900
205	1840		12.	1940
238	1830		22.	1720
255	1780			1930
215	1810		35.	2050
214	1530		51.	1850

TABELLE 2

Durchschnittlich ausgeschiedene Kotmenge pro Tier und Tag in g, Aschegehalt des Kotes in Prozent, durchschnittliche ^{54}Mn-Ausscheidung mit dem Kot pro Tier und Tag insgesamt, sowie in pCi/100 g Kot und in Prozent der verabreichten ^{54}Mn-Aktivität.

Versuchstag	Durchschnittl. Kotmenge pro Tier und Tag in g	Asche %	Durchschnittl. pro Tier und Tag ausgeschiedene ^{54}Mn-Aktivität in pCi	pCi/100 g Kot	Ausgeschiedene Aktivitätsmenge in % der verabreichten ^{54}Mn-Aktivität +)
1.	187, 0	4, 44	159246	85250	92, 07
2.	142, 9	4, 62	1819	1273	1, 05
3.	180, 7	4, 23	1447	801	0, 84
4.	176, 8	4, 24	806	456	0, 47
5.	190, 6	4, 56	652	342	0, 38
6.	153, 0	5, 17	519	339	0, 30
7.	170, 9	5, 38	506	296	0, 29
8.	149, 1	5, 70	430	288	0, 25
9.	138, 2	5, 20	302	219	0, 17
10.	115, 3	4, 50	207	179	0, 12
11.	157, 9	4, 87	171	108	0, 10
12.	187, 1	4, 92	221	118	0, 13
13.	156, 3	5, 05	153	98	0, 088
14.	141, 9	5, 60	128	90	0, 074
15.	173, 0	5, 95	145	84	0, 084
16.	160, 5	4, 98	127	80	0, 073
17.	157, 5	4, 70	163	103	0, 094
18.	124, 0	3, 91	92	74	0, 053
19.	112, 8	4, 40	78	69	0, 045
20.	138, 5	4, 40	57	41	0, 033
21.	138, 0	3, 60	55	40	0, 032
22.	131, 0	4, 16	33	25	0, 019
23.	173, 0	3, 90	31	18	0, 018
24.	146, 0	5, 14	20	13	0, 012
25.	141, 0	5, 70	16	11	0, 009
26.	136, 2	5, 36	10	7	0, 006
27.	144, 9	5, 90	4	3	0, 0023
					insgesamt bis 27. Tag ausgeschiedene Aktivität in % 96, 81
Kontrollkot					
1.	192, 1	4, 46			
4.	139, 0	4, 14			
7.	146, 3	5, 74			
10,	159, 8	5, 69			
16.	138, 4	5, 20			
20.	124, 7	5, 93			
25.	142, 6	5, 54			
33.	156, 0	5, 19			

+) (100 % = 172948, 345 pCi)
(= durchschnittlich pro Kottesthahn verabreichte Aktivität)

TABELLE 3

Frischgewicht, Ascheprozent und ^{54}Mn-Gehalt (in pCi/100 g Frischgewicht und pCi/g Asche) des Magen-Darmtraktes der Hähne.

Untersuchungstag	Tier Nr.	Frischgewicht der Proben in g	Asche %	pCi/100 g Frischgewicht	pCi/g Asche
1.	219	81,39	1,09	4804	3494
	223	70,70	1,34	4696	3305
2.	206	73,60	1,11	2185	1962
	217	73,60	1,06	2228	2104
3.	226	62,20	1,01	1042	1029
	220	88,40	0,93	6681	743
5.	202	60,40	1,01	624	618
	240	89,10	0,87	305	352
	227	78,60	0,86	170	196
7.	224	75,30	0,90	118	132
9.	236	87,00	1,03	106	102
	208	61,30	0,82	86	83
12.	237	78,25	0,95	80	79
	213	55,60	1,09	94	85
15.	218	67,14	1,04	76	73
16.	207	27,90	1,04	104	100
	212	59,60	1,02	80	78
18.	244	50,40	0,95	90	95
	201	63,90	1,05	46	43
22.	222	57,40	0,88	54	61
	203	58,20	1,03	45	44
26.	232	60,00	1,25	13	10
	231	70,57	1,13	28	25
30.	239	62,06	1,10	30	27
35.	228	78,60	1,07	19	18
40.	233	69,85	1,15	20	17
45.	210	68,00	1,03	18	17
51.	225	76,50	0,80	15	19
57.	221	75,5	0,93	11	12
Kontrolltiere					
2.	209	53,2	1,13		
12.	205	66,6	1,02		
	238	46,5	1,33		
22.	255	57,8	1,18		
35.	215	76,9	1,10		
51.	214	55,0	0,90		

TABELLE 4

Frischgewicht, Ascheprozent und ^{54}Mn-Gehalt (in pCi/100 g Frischgewicht und pCi/g Asche) der Haut der Hähne.

Untersuchungstag	Tier-Nr.	Frischgewicht der Proben in g	Asche %	pCi/100 g Frisch-gewicht	pCi/g Asche
1.	219	145, 4	0, 62	272	439
	223	131, 0	0, 47	258	554
2.	206	125, 7	0, 56	148	262
	217	120, 6	0, 51	160	311
3.	226	108, 8	0, 66	216	326
	220	152, 8	0, 62	139	224
5.	202	117, 1	0, 54	111	206
	240	139, 9	0, 60	73	121
	227	143, 2	0, 49	60	123
7.	224	121, 0	0, 57	47	82
9.	236	184, 9	0, 38	40	106
	208	126, 3	0, 49	31	63
12.	237	136, 45	0, 65	31	48
	213	173, 8	0, 49	24	49
15.	218	183, 8	0, 52	21	41
16.	207	79, 5	0, 53	10	19
	212	144, 6	0, 62	22	36
18.	244	132, 2	0, 45	26	57
	201	115, 4	0, 65	21	32
22.	222	121, 6	0, 58	25	43
	203	128, 8	0, 62	20	32
26.	232	121, 5	0, 74	0	0
	231	167, 5	0, 57	13	23
30.	239	129, 9	0, 65	15	23
35.	228	173, 6	0, 55	10	18
40.	233	163, 6	0, 61	11	18
45.	210	162, 0	0, 43	7	16
51.	225	204, 0	0, 44	2	5
57.	221	163, 6	0, 49	0	0
Kontrolltiere					
2.	209	149, 8	0, 65		
12.	205	140, 8	0, 43		
	238	131, 5	0, 47		
22.	255	144, 7	0, 56		
35.	215	190, 1	0, 44		
51.	214	164, 8	0, 55		

TABELLE 5

Frischgewicht, Ascheprozent und ^{54}Mn-Gehalt (in pCi/100 g Frischgewicht und pCi/g Asche) der "Organe" der Hähne.

Untersuchungstag	Tier-Nr.	Frischgewicht der Proben in g	Asche %	pCi/100 g Frisch-gewicht	pCi/g Asche
1.	219	67, 0	1, 27	7473	5893
	223	56, 2	1, 16	7354	6355
2.	206	50, 6	1, 20	5129	4256
	217	59, 8	1, 10	4521	4098
3.	226	57, 1	1, 22	4797	3914
	220	61, 5	1, 27	4288	3383
5.	202	138, 75	1, 16	2400	2062
	240				
7.	227	74, 1	1, 21	2230	1835
	224	64, 6	1, 38	1633	1185
9.	236	91, 3	1, 15	1067	928
12.	208	65, 7	1, 22	618	507
	237	80, 4	1, 12	583	521
15.	213	71, 4	1, 12	439	392
	218	79, 7	1, 25	402	321
16.	207	29, 0	1, 45	927	640
18.	212	64, 95	1, 32	355	268
	240	62, 5	1, 20	339	282
22.	201	114, 2	1, 22	317	260
	222				
26.	203	62, 7	1, 28	256	201
	232	72, 8	1, 03	1165	1131
30.	231	77, 7	1, 29	158	123
	239	72, 2	1, 31	163	124
35.	228	78, 5	1, 27	74	58
40.	233	73, 1	1, 36	67	49
45.	210	55, 5	1, 35	50	37
51.	225	69, 0	1, 16	35	30
57.	221	71, 5	1, 05	19	18
Kontrolltiere					
2.	209	62, 3	1, 14		
12.	205	69, 8	1, 26		
22.	238	128, 7	1, 20		
	255				
35.	215	77, 9	1, 35		
51.	214	59, 4	1, 09		

TABELLE 6

Frischgewicht, Ascheprozent und ^{54}Mn-Gehalt (in pCi/100 g Frischgewicht und pCi/g Asche) der Knochen der Hähne.

Untersuchungstag	Tier-Nr.	Frischgewicht der Proben in g	Asche %	pCi/100 g Frisch-gewicht	pCi/g Asche
1.	219	127, 5	25, 54	468	18
	223	106, 4	22, 31	435	19
2.	206	146, 1	22, 01	356	16
	217	143, 1	24, 04	327	14
3.	226	142, 9	23, 06	332	14
	220	146, 3	22, 35	298	13
5.	202	136, 3	24, 36	272	11
	240	132, 4	23, 41	243	10
7.	227	140, 1	23, 01	197	8
	224	140, 8	23, 97	147	6
9.	236	166, 7	22, 46	136	6
	208	112, 7	27, 58	113	5
12.	237	150, 0	23, 07	124	5
	213	126, 6	28, 08	154	5
15.	218	139, 4	25, 19	138	5
16.	207	104, 1	30, 45	168	6
18.	212	130, 5	24, 9	137	5
	244	113, 8	24, 6	158	6
22.	201	103, 9	26, 77	140	5
	222	102, 5	28, 97	159	5
26.	203	119, 0	27, 61	151	5
	232	121, 6	26, 60	42	2
30.	231	147, 6	23, 96	110	4
	239	119, 2	24, 33	130	5
35.	228	139, 3	25, 81	91	4
40.	233	165, 7	24, 9	95	3
45.	210	133, 5	25, 62	94	4
51.	225	138, 0	24, 38	93	4
57.	221	126, 0	21, 42	86	4
Kontrolltiere					
2.	209	148, 5	23, 97		
12.	205	140, 0	24, 68		
22.	238	118, 7	25, 27		
	255	134, 3	24, 68		
35.	215	142, 3	24, 60		
51.	214	128, 4	25, 43		

TABELLE 7

Frischgewicht, Ascheprozent und ^{54}Mn-Gehalt (in pCi/100 g Frischgewicht und pCi/g Asche) der Muskulatur der Hähne.

Untersuchungstag	Tier-Nr.	Frischgewicht der Proben in g	Asche %	pCi/100 g Frisch-gewicht	pCi/g Asche
1.	219	594, 0	1, 14	199	174
	223	583, 9	1, 05	183	174
2.	206	589, 6	1, 04	183	176
	217	650, 7	1, 18	171	144
3.	226	585, 5	1, 19	193	161
	220	675, 1	1, 16	158	136
	202	601, 4	1, 14	118	104
5.	240	616, 8	1, 16	104	90
	227	673, 1	1, 15	80	69
7.	224	633, 3	1, 16	60	52
9.	236	610, 9	1, 06	61	58
	208	500, 2	1, 08	48	44
12.	237	634, 9	1, 26	48	38
	213	688, 3	1, 24	38	31
15.	218	687, 3	1, 08	36	33
16.	207	245, 0	1, 13	28	27
18.	212	631, 6	1, 27	35	28
	244	603, 8	1, 13	37	32
22.	201	519, 4	1, 17	34	29
	222	482, 0	1, 16	40	34
26.	203	630, 0	1, 18	33	28
	232	492, 4	1, 15	12	10
30.	231	796, 9	1, 21	21	17
	239	614, 9	1, 35	24	18
35.	228	645, 4	1, 08	18	17
40.	233	727, 2	1, 08	17	16
45.	210	683, 6	1, 25	15	12
51.	225	689, 0	1, 18	14	12
57.	221	436, 3	1, 01	10	10
Kontrolltiere					
2.	209	645, 5	1, 18		
12.	205	580, 5	1, 16		
	238	593, 2	1, 19		
22.	255	621, 4	1, 16		
35.	215	671, 9	1, 10		
51.	214	746, 5	1, 13		

TABELLE 8

Frischgewicht in g, Trockensubstanz in % und ^{54}Mn-Gehalt (in pCi/100 g Frischgewicht) der untersuchten Blutproben der Hähne.

Untersuchungstag	Tier-Nr.	Frischgewicht der untersuchten Blutproben in g	Trockensubstanz in %	pCi/100 g Frischgewicht
2.	206 217	45, 3	19, 65	39
3.	226 220	59, 3	18, 55	41
5.	202 240	67, 4	18, 99	49
9.	236	53, 7	17, 69	42
22.	201 222	57, 5	19, 13	23
26.	203 232	110, 2	18, 42	14
40.	233	87, 3	17, 75	17
45.	210	44, 8	18, 64	9
57.	221	48, 3	17, 4	6
Kontrolltiere				
12.	205	95, 15	18, 18	
22.	238	35, 05	19, 12	
51.	214	54, 9	15, 8	

TABELLE 9

Frischgewicht, Ascheprozent und ^{54}Mn-Gehalt (in pCi/100 g Frischgewicht und pCi/g Asche) der untersuchten Hoden der Hähne.

Untersuchungstag	Tier-Nr.	Frischgewicht der Proben in g	Asche %	pCi/100 g Frisch-gewicht	pCi/g Asche
2.	206 217	27, 0	1, 19	153	129
5.	202 240	29, 4	1, 02	161	158
7.	227 224	29, 6	1, 08	210	195
15.	213 218	43, 6	1, 15	219	191
18.	212 244	13, 2	1, 44	241	168
22.	201 222	32, 3	1, 25	246	197
26.	203 232	35, 8	1, 26	136	108
30.	231	18, 5	1, 35	111	83
	239	19, 4	1, 29	104	81
51.	225	20, 5	1, 22	41	34
Kontrolltiere					
2.	209	19, 5	1, 23		
22.	238	20, 7	1, 01		
51.	214	20, 1	1, 08		

TABELLE 10

Frischgewicht, Ascheprozent und ^{54}Mn-Gehalt (in pCi/100 g Frischgewicht und pCi/g Asche) der untersuchten Federproben der Hähne.

Untersuchungstag	Tier-Nr.	Frischgewicht der Proben in g	Asche %	pCi/100 g Frischgewicht	pCi/g Asche
1.	219	88	2, 05	182	89
3.	226	68	2, 55	677	181
	220	89	2, 18	591	270
15.	218	74	2, 16	43	20
18.	212	86, 6	1, 62	40	24
	244	83	1, 57	45	28
30.	231	108, 6	2, 16	44	22
57.	221	125, 8	1, 71	10	6
Kontrolltiere					
22.	238	87, 4	2, 19		
35.	215	122, 6	1, 90		
51.	214	123, 2	2, 19		

TABELLE 11

Verteilung der ^{54}Mn-Aktivität auf die einzelnen Gewebe in % der ^{54}Mn-Gesamtgewebe-Aktivität.

Untersuchungstag	Tier-Nr.	^{54}Mn-Gesamtgewebe-Aktivität in pCi (= 100 %)	Magen-Darmtrakt	Haut	Organe	Knochen	Muskulatur
1.	219	11094	35, 24	3, 56	45, 16	5, 38	10, 66
	223	9320+)	35, 61	3, 62	44, 32	4, 97	11, 46
2.	206	5991	27, 15	3, 10	43, 79	7, 75	18, 16
	217	6121	26, 81	3, 15	44, 20	7, 64	18, 17
3.	226	5229	12, 40	4, 49	52, 41	9, 07	21, 61
	220	4956	12, 15	4, 28	53, 23	8, 79	21, 52
5.	202 240	6261	10, 45	3, 70	53, 17	11, 05	21, 59
7.	227	2686	4, 90	3, 20	61, 50	10, 28	20, 04
	224	1788	4, 97	3, 18	59, 01	11, 58	21, 25
9.	236	1738	5, 29	4, 25	56, 04	12, 94	21, 46
12.	208	898	6, 13	4, 35	45, 20	17, 56	26, 74
	237	1065	5, 88	3, 98	44, 04	17, 47	28, 61
15.	213	863	5, 94	4, 83	36, 31	20, 60	30, 31
	218	850	6, 00	4, 54	37, 71	22, 63	29, 10
16.	207	550	5, 27	1, 45	48, 90	31, 81	12, 54
18.	212	710	6, 71	4, 48	32, 48	25, 19	31, 13
	244	696	6, 52	4, 94	30, 44	26, 00	32, 10
22.	201 222	1447	5, 24	4, 73	31, 37	26, 70	31, 94
26.	203	600	4, 36	4, 29	26, 75	29, 94	34, 65
	232	966	0, 82	0	87, 78	5, 27	6, 10
30.	231	494	4, 00	4, 40	25, 85	32, 85	33, 87
	239	462	4, 03	4, 21	25, 47	33, 54	32, 74
35.	228	334	4, 49	5, 08	17, 36	38, 32	34, 73
40.	233	362	3, 86	4, 97	13, 56	43, 48	34, 15
45.	210	278	4, 31	3, 95	9, 90	44, 92	36, 83
51.	225	263	4, 17	1, 51	9, 11	48, 59	36, 59
57.	221	173	4, 61	0	7, 84	62, 36	25, 17

+) = je ca. 6 % der verabreichten Dosis.

TABELLE 13

Analysenwerte für Wasser-, Fett- und Rohproteingehalt der Muskulatur der Hähne.

Tier-Nr.	Wasser %	Rohprotein %	Fett %
219	71, 80	22, 13	4, 87
223	71, 00	23, 43	4, 18
206	72, 96	21, 92	3, 39
217	73, 89	22, 98	1, 17
226	74, 70	21, 25	2, 63
220	73, 12	22, 62	2, 55
202	75, 05	22, 80	1, 44
240	72, 87	23, 56	2, 47
227	72, 91	23, 03	3, 23
224	73, 61	21, 82	3, 36
236	71, 30	23, 38	4, 46
208	73, 12	24, 84	5, 48
237	75, 13	22, 25	1, 77
213	73, 17	23, 05	4, 08
218	71, 41	22, 65	4, 18
207	73, 01	26, 27	0, 34
212	74, 06	21, 26	4, 04
244	73, 44	21, 41	4, 29
201	74, 03	23, 40	2, 13
222	73, 51	22, 94	3, 18
203	71, 72	22, 46	4, 01
232	73, 38	24, 74	1, 23
231	71, 84	22, 40	5, 71
239	74, 43	22, 76	2, 01
228	72, 11	22, 91	3, 24
233	73, 98	23, 01	1, 99
210	72, 30	23, 30	4, 06
225	71, 65	22, 79	4, 00
221	74, 14	22, 21	3, 17
Kontrolltiere			
209	73, 60	23, 85	1, 50
205	73, 18	23, 00	3, 15
238	74, 09	21, 70	2, 81
255	72, 60	22, 90	3, 45
215	74, 88	21, 46	2, 57
214	72, 29	21, 86	5, 20
Durchschnitt ohne Berücksichtigung der Hähne Nr. 207 und 232	73, 15	22, 65	3, 33